Objektorientierte Modellbildung in der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung

Entwurf und Erprobung eines Modellbildungskonzeptes für den Physik- und Technikunterricht und für die Produktion von Lern- und Informationsmedien

Von der Fakultät für Naturwissenschaften
der
Gerhard-Mercator-Universität Duisburg

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Pädagogik
genehmigte Dissertation

von

André Bresges

aus

Wesel am Niederrhein

Referent:	Professor Dr. rer. nat Horst Harreis✞
Korreferent:	Professor Dr. rer. nat. Wolfgang Haupt
Tag der mündlichen Prüfung:	Dienstag, 22. Oktober 2002

Danksagung

Eine wichtige Säule protestantischer Arbeits-Ethik ist die Aussage Christus', man könne Menschen an den Früchten ihrer Arbeit erkennen. Wie vereinbart sich dieses mit der Theorie, jeder Mensch sei ein Produkt seiner Umwelt?

Nun, sollte dieser Baum faule Früchte tragen, so liegt dies ganz sicher nicht an meiner Umwelt - denn:

Zu wertvoll war die Betreuung durch meinen geschätzten Doktorvater, Herrn Prof. Dr. rer. nat Horst Harreis. Seine persönliche Integrität, zusammen mit seiner Fähigkeit und Bereitschaft, sich auch in verquere Gedanken hineinzudenken und Konsequenzen und Inkonsequenzen dann aus der Logik seines Gegenüber heraus zu begründen, ist bewundernswert und wird für mich immer vorbildhaft bleiben.

Zu liebevoll ist die Treue meiner lieben Eltern, Marianne und Helmut Bresges, die mich nun schon lange Zeit und mit unerschütterlichem Vertrauen durch eine Zeit des Lernens begleiten, die lange vor der Grundschule anfing und kein absehbares Ende hat.

Zu geduldig haben Astrid Lordick, Denise Hinzke, Natascha Müller, Manfred Hein, Markus Pötters, Oliver Krieger, Cassandra Schwarz, Tobias Rohn, Bianca van Holt und Vera Wellmer meine seelischen Schwankungen abgefangen. Nichts ist für die Korrektur sozialer Fehlentwicklung während der Promotionszeit gesünder als Sandsäcke, die zurückschlagen.

Zu inspirierend war die Arbeit mit meinen studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften Stefan Hoffmann, Marc-André Wolf, Ferry Dave Jäckel, Tobias Bauer, Markus Pötter, Christian van gen Hassend, Dietger Bovenschen, Yvonne Nagat, Stefan Fletcher, Miriam Primbs und Martin Lentz - und zu häufig sind wir spät in der Nacht alle gemeinsam vom Wach- und Schließdienst aus dem Rechnerraum gescheucht worden. Wahrscheinlich bedingte das Eine das Andere.

Zu hilfreich war die Unterstützung durch meine Kollegen in den Fächern Didaktik der Physik und Technologie und Didaktik der Technik. Wenn eine Universität der Nährboden für neue Gedanken sein soll, so ist das nur möglich wenn auch in Zukunft Menschen wie Egbert Kluitmann, Norbert Renner, Anja Dams, Bernd Pötters, Reinhard Michalski, Frank Schwarz, Stefan Werner, Sabina Grubba, Uwe Brockmann, Stefan Fletcher, Harald Sieger, Udo Bretschneider, Uwe Hingmann, Herbert Litschke, Michael Neunzig, Herbert Loos, Armin Kleist, Ute Bachor, Klaus Kolpatzek, Alexander Busse und Konrad Mingels in ihr miteinander leben, arbeiten und diskutieren können.

Zu kooperativ war die Zusammenarbeit mit den Kollegen der Willy-Brandt-Schule Mülheim. Die Schule hat als leistungsfähiger Projektpartner der Universität Duisburg ein optimales Praxisfeld für die Erprobung der in diesen und anderen Projekten entwickelten Methoden geboten.

Zu aufopfernd war die Korrekturarbeit von Frau Yvonne Nagat, die meine stille Hoffnung wiederlegte, dass die menschliche Aufmerksamkeit für Tippfehler nach mehreren hundert gelesenen Seiten gnädig erlahmen würde.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG – ZIEL UND AUFBAU DER ARBEIT 8

2 WISSENSCHAFTSTHEORETISCHE BEDEUTUNG DER MODELLBILDUNG..... 12

2.1 ABBILDUNGSMERKMAL 12
2.2 VERKÜRZUNGSMERKMAL 13
2.3 ANWENDUNGSMERKMAL 15
2.4 SIMULATIONSMODELLE 16
2.5 SEMANTISCHE STUFEN DER MODELLBILDUNG 17
2.6 DEFINITION VON MODELLGRÖßEN 18
2.7 KLASSENBILDUNG VON MODELLEN 18
2.8 SPRACHE ALS SYMBOLSYSTEM 20
2.9 METHODIK DES ARBEITENS MIT MODELLEN 21
2.10 ABGRENZUNG ZU ANDEREN WISSENSCHAFTSTHEORETISCHEN BEGRIFFEN 23

3 MODELLBILDUNGSKONZEPTE VERSCHIEDENER BEZUGSWISSENSCHAFTEN..... 25

3.1 VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER PHYSIK 25
3.1.1 Das Forrester-Schema der System Dynamics 27
3.1.2 Weitere grafische Modellierungswerkzeuge 33
3.1.3 Numerische Probleme bei der Realisierung von Modellen und Simulationen in der Physik 35
3.1.3.1 Euler-Verfahren 36
3.1.3.2 Improved Euler/Euler-Cauchy/Heun's Method/Halbschrittverfahren 37
3.1.3.3 Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung 39
3.1.3.4 Symplektische Algorithmen: das Leapfrog-Verfahren 40
3.1.3.5 Zur Optimierung der Schrittweite bei numerischen Verfahren 41
3.2 VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER TECHNOLOGIE 43
3.2.1 Definition des Begriffes „Technik" 43
3.2.2 Die „Allgemeine Technologie" 43
3.2.3 Das Konzept der „vollständigen Handlung" 45
3.2.4 Systematische Strukturierung von Wissen: Mind-mapping, Petri-Netze, System der Allgemeinen Technologie 52
3.3 VORGEHENSWEISEN ZUR MODELLBILDUNG UND MODELLERSTELLUNG IN DER INFORMATIK 55
3.3.1 Textuelle Analyse und Strukturierte Programmierung (60er und 70er Jahre) 58
3.3.2 Strukturierte Analyse und modulare Programmierung (80er Jahre) 61
3.3.3 Objektorientierte Analyse, Objektorientierte Modellbildung und Objektorientierte Programmierung (seit 1990) 66
3.3.3.1 Entwicklungsgeschichte 66
3.3.3.2 Die Unified Modeling Language UML 67
3.3.3.3 Grundlagen der Objektorientierung 68
3.3.3.4 Beispiel zur Vorgehensweise 70
3.3.4 Zusammenfassung 74

4 ENTWURF EINES KONZEPTES ZUR OBJEKTORIENTIERTEN ANALYSE UND MODELLBILDUNG 77

4.1 VISUALISIERUNG DES OBJEKTMODELLS MIT DUML 77
4.2 OBJEKTORIENTIERTE SYSTEMANALYSE 95

5 EINSATZ, PRAKTISCHE ERPROBUNG UND EMPIRISCHE EVALUATION 125

5.1 ZUR PRAKTISCHEN ERPROBUNG DES KONZEPTES 125
5.2 ERSTER TEIL: PRAKTISCHE ERPROBUNG DER OBJEKTORIENTIERTEN MODELLBILDUNG IM PROJEKT COLEEN: „KOMPONENTENBASIERTE LERNSOFTWARE FÜR DIE LEHRERAUSBILDUNG (PHYSIK UND TECHNIK IN DEN SEKUNDARSTUFEN I UND II SOWIE LERNBEREICH SACHUNTERRICHT NATURWISSENSCHAFTEN-TECHNIK) UND FÜR DIE INTEGRIERTEN STUDIENGÄNGE PHYSIK - DIPLOM I UND II“ 127
5.2.1 Problemhintergrund und Aufgabenstellung des Projektes 127
5.2.1.1 Mehrfache Nutzung des fachlichen Grundlagenwissens 127
5.2.1.2 Verbesserte Präsentation des ausgewählten Lehrstoffes im Vergleich zu konventionellen Medien 128
5.2.1.3 Probleme beim Einsatz kommerzieller Lernsoftware in fachdidaktischen Lehrveranstaltungen 129
5.2.1.4 Einsatz in den Lehrveranstaltungen 129
5.2.2 Inhalt und Umfang der Komponentensammlungen 130
5.2.3 Beschreibung der Projektergebnisse: Erstellte Software 131
5.2.3.1 Gesamtdarstellung 131
5.2.3.2 Der Themenbereich Messtechnik 132
5.2.4 Themenbereich Thermodynamik 138
5.2.5 Besonderheiten beim Management der Softwareentwicklung 142
5.2.6 Ziele beim Einsatz komponentenorientierter Lernsoftware 142
5.2.7 Jahr 2000: Erprobung im Seminar "Neue Medien im naturwissenschaftlichen und technischen Unterricht" 144
5.2.7.1 Seit 2001: geregelter Einsatz in den Lehrveranstaltungen 146
5.2.7.2 Erste Phase: Sachanalyse 147
5.2.7.3 Zweite Phase: Versuchsdurchführung 148
5.2.7.4 Dritte Phase: Auswertung 148
5.2.7.5 Vierte Phase: Nachbereitung 149
5.3 ZWEITER TEIL: SCHULVERSUCH „OBJEKTORIENTIERTER MODELLBILDUNG IM PHYSIKUNTERRICHT“ 150
5.3.1 Planung des Schulversuches 150
5.3.1.1 Theoretische Grundlagen / Untersuchungsmodell 150
5.3.1.2 Geplante Versuchsdurchführung 153
5.3.1.3 Bedingungsanalyse: Labor-Lerngruppe 154
5.3.1.4 Bedingungsanalyse: Vergleichsgruppe 155
5.3.1.5 Bedingungsanalyse: Feldversuchsgruppen 155
5.3.1.6 Einordnung in den Rahmenlehrplan der Laborversuchsschule 156
5.3.1.7 Sachanalyse 157

5.3.2 Durchführung der Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe ... 158
5.3.2.1 Analyse eines existierenden Modells ... 158
5.3.2.2 Einführung in die Objektorientierte Programmierung ... 161
5.3.2.3 Geradlinig gleichförmige Bewegung: Parametervariation mit dem Software-Modell ... 162
5.3.2.4 Abgleich des Software-Modells zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Realität durch physikalische Experimente ... 163
5.3.2.5 Formulierung der Klassendiagramme ... 168
5.3.2.6 Die beschleunigte Bewegung / der waagerechte Wurf ... 169
5.3.2.7 Parametervariation mit dem Software-Modell ... 170
5.3.2.8 Abgleich des Software-Modells mit der Realität durch physikalische Experimente ... 174
5.3.2.9 Durchführung des Versuches ... 178
5.3.2.10 Auswertung des Versuches ... 179
5.3.3 Planung der begleitenden Untersuchung ... 186
5.3.3.1 Statistische Maße ... 187
5.3.3.2 Planung des Vorgehens ... 188
5.3.4 Durchführung der begleitenden Untersuchung ... 189
5.3.4.1 Frage 1: Akzeptanz (kurzfristig) des erlebten Unterrichtes und seiner Inhalte ... 190
5.3.4.1.1 Ergebnisse ... 191
5.3.4.1.2 Ergebnisse: nur Laborgruppe ... 192
5.3.4.1.3 Hypothesenformulierung ... 193
5.3.4.1.4 Gruppengespräch ... 193
5.3.4.1.5 Interpretation ... 194
5.3.4.1.6 Feldversuch ... 195
5.3.4.2 Frage 6: Akzeptanz der verwendeten Medien ... 196
5.3.4.2.1 Ergebnisse Frage 6a ... 197
5.3.4.2.2 Hypothesenformulierung ... 199
5.3.4.2.3 Gruppengespräch ... 199
5.3.4.2.4 Interpretation ... 200
5.3.4.2.5 Ergebnisse Frage 6b ... 201
5.3.4.2.6 Hypothesenbildung ... 203
5.3.4.2.7 Gruppengespräch ... 203
5.3.4.2.8 Interpretation ... 204
5.3.4.2.9 Ergebnisse Frage 6c: ... 205
5.3.4.3 Frage 2: Begriffsassoziation und Problemhandeln ... 206
5.3.4.3.1 Auswertung Frage 2a: Assoziationen mit dem Begriff „Geschwindigkeit“ ... 207
5.3.4.3.2 Auswertung Frage 2b: Assoziation mit dem Begriff „Beschleunigung“ ... 211
5.3.4.3.3 Auswertung Frage 2c: Vergleich der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung ... 214
5.3.4.3.4 Zusammenfassung des Fragenteils 2 ... 216
5.3.4.3.5 Gruppengespräch ... 217
5.3.4.3.6 Interpretation ... 217
5.3.4.4 Frage 3: Problemlösungsdenken in Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsbegriff ... 218
5.3.4.4.1 Ergebnisse ... 219
5.3.4.4.2 Auswertung Frage 3a: Bestimmung der Geschwindigkeit eines Radfahrers (Lösungsansätze) ... 219
5.3.4.4.3 Auswertung Frage 3b: Tatsächlich gewählte Lösung zur Messung einer Geschwindigkeit ... 220
5.3.4.4.4 Auswertung Frage 3c: Vorhersage der gefahrenen Strecke (Lösungsansätze) ... 223
5.3.4.5 Frage 4: Bisher stattgefundene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt ... 225
5.3.4.5.1 Ergebnisse ... 226

5.3.4.6 Frage 5: Analyse eines Bewegungsprofils ... 229
5.3.4.6.1 Auswertung ... 231
5.3.4.6.2 Hypothesenformulierung ... 234
5.3.4.6.3 Gruppengespräch ... 235
5.3.5 Zusammenfassung ... 236
5.4 DRITTER TEIL: EINSATZ, ERPROBUNG UND EVALUATION VON KOMPONENTENORIENTIERTER LERNSOFTWARE IM TECHNIKUNTERRICHT DER GYMNASIALEN OBERSTUFE ... 237
5.4.1 Über das Unterrichtsthema ... 237
5.4.2 Evaluation zur Verbesserung des Lernverhaltens ... 238
5.4.3 Multimedia und Projektmethode ... 240
5.4.4 Planung der Unterrichtsreihe ... 242
5.4.4.1 Der Kontext der Unterrichtsreihe ... 242
5.4.4.2 Die Lerngruppe ... 243
5.4.4.3 Der Schwerpunkt der Arbeit unter fachlichen Aspekten ... 244
5.4.4.4 Systemanalyse ... 244
5.4.4.5 Begriffsbestimmungen ... 245
5.4.4.6 Das Verhalten von Gliedern eines Regelkreises (open-loop-Betrachtung). ... 246
5.4.4.7 Effekte, die im geschlossenen Regelkreis auftreten können (closed-loop-Betrachtung) ... 249
5.4.4.8 Strukturierung der Unterrichtsreihe und des Lernmoduls ... 250
5.4.4.8.1 Strukturprinzip ... 250
5.4.4.8.2 Klärung der Aufgabenstellung ... 252
5.4.4.8.3 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik ... 252
5.4.4.8.4 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik ... 253
5.4.4.8.5 Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen ... 254
5.4.4.8.6 Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen ... 255
5.4.4.8.7 Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen ... 256
5.4.4.8.8 Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation ... 256
5.4.4.8.9 Die Rolle der Gesprächsrunden am Ende von Gruppenarbeitsphasen. ... 256
5.4.5 Durchführung der Unterrichtsreihe ... 257
5.4.5.1 Einstieg und Klärung der Aufgabenstellung ... 257
5.4.5.2 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik ... 259
5.4.5.3 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik ... 261
5.4.5.4 Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen ... 262
5.4.5.5 Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen ... 265
5.4.5.6 Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen ... 267
5.4.5.7 Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation ... 269
5.4.6 Analyse der Zugriffs-Statistiken ... 270
5.4.6.1 Gruppe „Platoon“ ... 270
5.4.6.2 Gruppe „Elite“ ... 276
5.4.6.3 Gruppe „Schlecht“ ... 279
5.4.7 Die Klausur vom 9.6.1998 ... 281
5.4.8 Reflexion des Einsatzes der Komponentenorientierten Lernsoftware im Technikunterricht ... 283

5.5 VIERTER TEIL: EINSATZ OBJEKTORIENTIERTER MODELLBILDUNG BEI DER ANALYSE TECHNISCHER SYSTEME IM TECHNIKUNTERRICHT DER JAHRGANGSSTUFE 10 285
5.5.1 Die Problemstellung: *285*
5.6 FÜNFTER TEIL: VORSCHLAG ZUM EINSATZ OBJEKTORIENTIERTER MODELLIERUNG FÜR EINE UNTERRICHTSREIHE ZUR „SYSTEMANALYSE MENSCHLICHEN HANDELNS“ IN DER SOZIALWISSENSCHAFT ODER ZUR „OPERATIONS RESEARCH“ IN DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT 289
5.6.1 Operations Research: Begriff und Herkunft *289*
5.6.2 Nichtlineare Optimierung in der Operations Research *289*
5.6.3 Skizze einer möglichen Unterrichtsreihe *290*
5.6.3.1 Analyse 290
5.6.3.2 Konzeption des Objektmodells 291
5.6.3.3 Der Aufbau der Software-Simulation 291
5.6.3.4 Erprobung und Abgleich mit der Realität 296

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 298

7 QUELLENVERZEICHNIS 304

7.1 LITERATUR 304
7.2 HYPERLINKS 310

8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 311

1 Einleitung – Ziel und Aufbau der Arbeit

εν Αρχηι ην ο Λογος

Am Beginn der Handlung stand ihr Sinn

Αρχηι

Anfang, Ursprung, aber auch Ziel, Prinzip, und auch Herrschaft, Ansatz und Angelpunkt von Wirkungen und Handlungen

Λογος
„Logos“: Sinn, Vernunft, Logik, Begriff, Wort

και ο Λογος ην προς τον Θεον

und der Sinn sprach zu dem Schöpfer

Junktur von: λεγειν προς τινα
zu jemandem sprechen

και Θεος ην ο Λογος

und der Schöpfer war eins mit dem Sinn (Joh. 1.1)[1].

Martin Luther hielt sich 1545 eng an eine bereits ins Lateinische übersetzte Fassung dieses Textes - die sogenannte „Vulgata“ - und formulierte:

„Am Anfang war das Wort,
und das Wort war bey Gott,
und Gott war das Wort.“

Während der Prolog des Johannes-Evangeliums nach der zweifachen Übersetzung einen leicht surrealen Charme versprüht, kann man aus seiner altgriechischen Originalform noch deutlich ein fundamentales Prinzip des Handelns ableiten:

Am **Ursprung** jeder Handlung, die zu einem sinnvollen Ergebnis
führen soll, steht ein Konzept, ein Begriff, eine sinnvolles **Modell**
von Verlauf, Ziel und Ausgang der Handlung.

Erst wenn das Handeln des Schöpfenden im Einklang mit dieser vor-Stellung steht, ist er in der Lage, in die ursprüngliche Unordnung[2] Struktur zu bringen.

---

[1] Nestle, E. (Hrsg.): Novum Testamentum Graece, Stuttgart: 1.Auflage 1898

[2] Hebräisch: Tohu-Wa-Bohu. Vergleiche hierzu auch Genesis 1.2-1.4

Bei Goethe können wir lesen was für das menschliche Handeln folgt, wenn es nicht mehr durch dieses Prinzip geleitet wird. Goethe ist auch die verkürzte Übersetzung von „Logos“ nicht entgangen; so lässt er seinen Dr. Faustus über den gleichen Zeilen brüten:

> Geschrieben steht: *"Im Anfang war das **Wort**!"*
> Hier stock' ich schon! Wer hilft mir weiter fort?
> Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen,
> Ich muss es anders übersetzen,
> Wenn ich vom Geiste recht erleuchtet bin.
> Geschrieben steht: *Im Anfang war der **Sinn**.*
> Bedenke wohl die erste Zeile,
> Dass deine Feder sich nicht übereile!
> Ist es der Sinn, der alles wirkt und schafft?
> Es sollte stehn: *Im Anfang war die **Kraft**!*
> Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
> Schon warnt mich was, dass ich dabei nicht bleibe.
> Mir hilft der Geist! Auf einmal seh' ich Rat
> Und schreib' getrost: *Im Anfang war die **Tat**!*

Deutlich markiert ist die Stelle, an der Faust mutwillig über jede annehmbare Übersetzung des Bibelverses hinausgeht: „Es *sollte* stehn: Im Anfang war die Kraft!“. Faust, der sich in seinem bisherigen Leben nicht gerade als Mann der Tat verstanden hat, beginnt von nun an nicht mehr den Sinn, sondern die Tat an den Anfang seiner Handlungen zu stellen – und markiert damit den Beginn der Tragödie, in deren Verlauf seine unüberlegte Taten und seine unbeherrschten Kräfte ihn von einer seelischen Verwirrung in die Nächste stürzen und großes Unglück über ihn und seine Mitmenschen, etwa das Gretchen, bringen werden.

Modellvorstellungen, die dem Menschen das geistige Probehandeln ermöglichen und die Sinnhaftigkeit seiner antizipierten Handlungen abschätzen lassen, sind offenbar ebenso uralt, wie sie zentral für die menschliche Entwicklung sind. Dies sind sie aber auch, weil diese Vorstellungen zwischen Menschen kommuniziert werden können; zu jedem Sinn und zu jedem Begriff gehört eben doch auch das Wort, mit dem er mitgeteilt werden kann. Nicht zuletzt muss irgendwann der sichtbare Nachweis erbracht werden, dass die Anwendung der Modellvorstellung zu einem Ziel führen kann.

Ziel und Aufgabe dieser Arbeit ist, ein neues Konzept für die Bildung strukturierter Modellvorstellungen komplexer technischer Systeme und naturwissenschaftlicher Prozesse als Ausgangspunkt zielgerichteter Handlungen zu formulieren und in verschiedenen Kontexten zu erproben. Diese Kontexte sind:

- Die Ausbildung von Studenten für das Lehramt in den Fächern Physik und Technologie;
- Die Produktion von Lehr- und Informationsmedien, die technische Systeme und naturwissenschaftliche Prozesse zum Inhalt haben, und
- Der Unterricht in Physik und Technik an allgemeinbildenden Schulen.

Die Arbeit ist erfolgreich, wenn erwiesen ist, dass Handlungen, die im Einklang mit den gebildeten Modellvorstellungen stehen, zu einem sinnvollen Ergebnis führen. Die Art des Ergebnisses variiert natürlich stark mit dem Kontext. In den meisten Fällen handelt es sich bei den Ergebnissen aber um nachweisbare Medienprodukte, z.B. mit Studenten erstellte Lehrfilme oder mit Schülern entwickelte Computersimulationen.

Diese Medienprodukte sind nicht nur mit Hilfe der Modellvorstellungen entstanden, sondern dienen gleichzeitig als Transportbehälter des Modells auf einer bestimmten Reduktionsstufe.

Zur Erreichung dieses Zieles folge ich dem hier dargestellten Ablauf:

Zunächst soll im ersten Kapitel der Begriff des Modells geklärt und für die vorliegende Arbeit definiert werden. Hierzu nutze ich eine Bandbreite von naturwissenschaftlicher, technischer und wissenschaftstheoretischer Literatur.

Im anschließenden zweiten Kapitel soll möglichst umfassend dargestellt werden, wie der Vorgang der Modellbildung in drei verschiedenen Bezugswissenschaften gehandhabt wird: in der Physik, in der Technologie, und in der Informatik. Diese Auswahl an Bezugswissenschaften ist in keiner Weise vollständig, denn bei der Auseinandersetzung mit dem Thema wird Modellbildung schnell als ein wesentliches und alle Wissenschaftsdisziplinen durchdringendes Prinzip deutlich. Vielmehr steht diese Auswahl im Zusammenhang mit einem engen Kontakt mit diesen Disziplinen während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg

- in der Sektion Didaktik der Physik der Fakultät für Naturwissenschaften und
- im Fach Technologie und Didaktik der Technik innerhalb der Abteilung für Informatik, Informations- und Medientechnik der Fakultät für Ingenieurwissenschaften.

Nachdem diese Übersicht einen Einblick in die Praxis und die Entwicklung der Modellbildung in einem Querschnitt natur- und technikwissenschaftlicher Disziplinen gegeben hat, soll mit Hilfe der daraus gewonnenen Erfahrungen im dritten Kapitel ein neues Konzept begründet werden: das Konzept der Objektorientierten Systemanalyse und der Objektorientierten Modellbildung für die naturwissenschaftliche und technische Bildung.

Der Kontext aus Schule, Hochschule und Medienproduktion, in dem der Einsatz dieses Konzeptes praktikabel sein soll, ist bereits genannt worden. Daraus erwachsen eine Reihe von Anforderungen an das Konzept:

1. für jeden Kontext muss die Darstellung eines Modells möglich sein, welches das Ausgangssystem mit einem angemessenen Komplexitätsniveau repräsentiert. Eine Schulklasse der Jahrgangsstufe 10 muss ein System anders diskutieren können als eine Gruppe von Studenten, die das System für eine Computersimulation modellieren will.

2. das Konzept muss fächerverbindend einsetzbar sein. Zum einen, weil technische Systeme in ihrer Realisation das Wissen verschiedener Fachdisziplinen wie Elektrotechnik, Physik, Informatik oder Maschinenbau bündeln; die Modelle

solcher Systeme sollten leistungsfähig genug sein dies auch wiederzuspiegeln. Zum anderen, weil mit einem fächerverbindend einsetzbaren Konzept eine gemeinsame Sprache für Lehrer, Schüler, Studenten und Wissenschaftler verschiedener Fachdisziplinen gefunden wäre. Davon profitiert sowohl der fächerverbindende Unterricht an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen als auch die Arbeit interdisziplinärer Teams bei der Erstellung von Lern- und Informationsmedien.

Weiterhin erscheint es sinnvoll, mit dem Konzept keine völlig neuen Regeln einzuführen, sondern auf den innerhalb der Fachdisziplinen gewachsen Konzepten aufzubauen und vorhandene Symbole, soweit sie ausreichend sind, weiter zu benutzen.

Der Erfolg dieses Vorhabens wird im vierten Kapitel bewertet. Hier findet die praktische Erprobung des Konzeptes in allen beschriebenen Kontexten statt. Je nach Kontext fand die Erprobung statt:

- im Rahmen von Drittmittelprojekten mit mehrjähriger Laufzeit während der Medienproduktion meiner Arbeitsgruppe,
- mit Studenten der Physik, Chemie, Technologie und Informatik in fächerverbindenden Seminaren und Praktika der Universität Duisburg oder
- im Rahmen mehrerer Modellversuche an allgemeinbildenden Schulen mit in einem Fall 149 beteiligten Schülern.

Dort, wo empirische Daten erhoben wurden, findet die Auswertung unmittelbar anschließend an die Beschreibung des Versuchsablaufes statt. Die Zusammenfassung und kritische Reflektion der gewonnenen Erfahrungen und gefundenen Ergebnisse bilden das Schlusswort in Kapitel fünf.

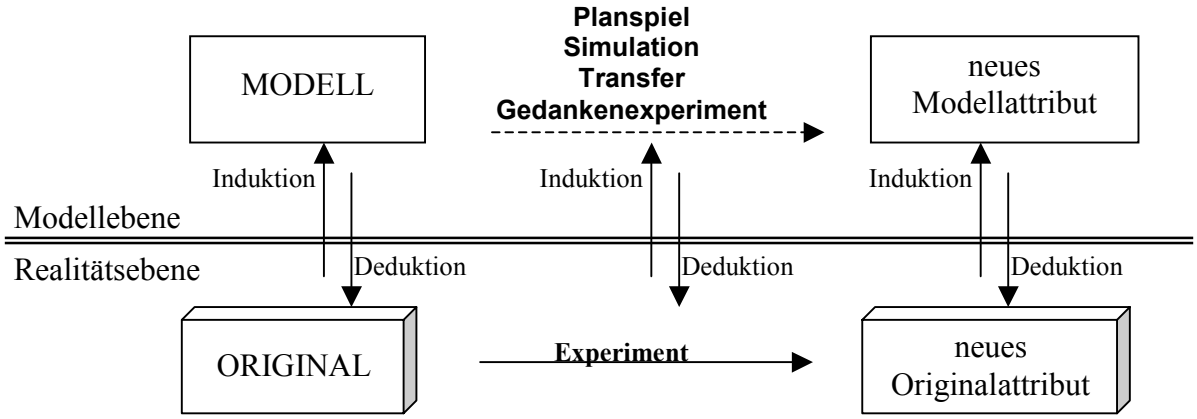
Damit ist der Aufbau meiner Arbeit in groben Zügen dargestellt.

Allen Lesern wünsche ich nun, dass die Auseinandersetzung mit der in meiner Arbeit dargestellten Begriffswelt ihnen im Nachhinein als eine ‚Sinn-stiftende' Tätigkeit erscheinen möge.

2 Wissenschaftstheoretische Bedeutung der Modellbildung

Mittels Modellbildung ist es möglich, die „zunächst unstrukturierten Ausgangsdaten eines Erkenntnisgegenstandes der wissenschaftlichen Untersuchung mit Hilfe formaler Abbildungen strukturiert darzustellen“[3].

Abbildung 1: Bezug von Begriffen der Modell- und der Realitätsebene zueinander



Die folgenden Abschnitte beschreiben einige zentrale Merkmale von Modellen:

2.1 Abbildungsmerkmal

In der wissenschaftlichen Begriffswelt sind Modelle nicht mit einem Originalgegenstand identisch: „Modelle sind Abbildungen oder Repräsentationen von Originalen.“ [4] Dies grenzt das wissenschaftstheoretische Modell von Modellen des allgemeinen Sprachgebrauchs ab, wie z.B. dem Modell einer Automarke, oder dessen verkleinerten „Spielzeug-“ Modell.

Mit Abbildung wird hier ein Vorgang bezeichnet, bei der den Originalattributen Modellattribute[5] zugeordnet werden. (Siehe Abbildung 1). Werden dabei aus dem Modell Attribute zugeordnet, die man aus dem Original entnommen = abgeleitet = deduziert hat, spricht man von einer Deduktion. Dieser Begriff ist mit dem wissenstheoretischen Begriff der Deduktion identisch gleich.

Übereinstimmend damit formuliert Möller: „Im Rahmen der Modellbildung werden die unstrukturierten Ausgangsdaten durch funktionale Dekompensation sowie Abstraktion unter bestimmten Gesichtspunkten analysiert (man kann im gewissen Sinne von einem Filterungs-

[3] Möller, D.: Modellbildung, Simulation und Identifikation dynamischer Systeme. Berlin: Springer 1992. Seite 77.

[4] Harreis, H.: Strukturorientiertes Denken und Modelle. In: Bader, R.; Jenewein, K.: Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt: G.A.F.B. Verlag 2000. Seite 103.

[5] Vgl. ebd.

prozess sprechen) und auf eindeutig bestimmte Elemente einschließlich deren Attribute (Merkmale, Eigenschaften, Relationen) abgebildet“[6].

Der Induktion im wissenschaftstheoretischen Sinn entspricht der Folgerung von Vorhersagen aus der Betrachtung der Modellvorstellung. Diese Vorhersagen können am realen Objekt verifiziert oder falsifiziert werden; im Falle der Verifikation haben wir ein neues Modellattribut gefunden - und eigentlich auch im Falle der Falsifikation: wir haben in jedem Fall aus dem Schlussfolgern aus der Modellvorstellung und der Überprüfung am Original neue Erkenntnisse über das Original gefunden, und sei es nur, dass eine bestimmte denkbare Handlung so nicht funktioniert. Der Wissenschaftstheoretiker Karl Popper vertritt deutlich die Auffassung, dass die Falsifikation einer wissenschaftlichen Theorie als wissenschaftlicher Erfolg zu werten ist: „Wir lernen immer eine ganze Menge durch eine Falsifikation. Wir lernen nicht nur, dass eine Theorie falsch ist, sondern wir lernen, warum sie falsch ist. Und vor allem gewinnen wir ein neues und schärfer gefasstes Problem; und ein neues Problem ist, wie wir ja schon wissen, der echte Ausgangspunkt einer neuen wissenschaftlichen Entwicklung. “[7]

Ein besonderes Merkmal der Modellbildung im naturwissenschaftlichen Bereich ist, dass hier die Originale häufig gar nicht der direkten menschlichen Betrachtung zugänglich sind - z.B. aufgrund mikroskopischer Größe (Atome, Nukleonen), oder zeitlicher und räumlicher Trennung (Dinosaurier, Urknall). Daher sind vielfach nur bestimmte Originalattribute bekannt, wie z.B. das chemische Verhalten der Atome unter bestimmten Bedingungen. Realisierte technische Anlagen sind zwar in der Regel direkt zugänglich, jedoch ist für eine Weiterentwicklung im Sinne einer technischen Optimierung ein Modellverständnis der Anlage notwendig. Auch in der Technik, die ja auf Erkenntnissen der Naturwissenschaften aufbaut finden wir Prozesse, die sich der direkten Beobachtung entziehen, z.B. solche die Vorgänge auf Mikro- und zunehmend auch auf Nanoebene einschließen.

Die Notwendigkeit des Arbeitens mit Modellvorstellungen überträgt sich entsprechend auf die naturwissenschaftliche und technische Bildung, denn erstens sollen hier die Methoden der jeweiligen Bezugswissenschaft vermittelt werden, und zweitens finden wir das Problem der fehlenden Zugänglichkeit der Originale hier häufig in noch stärkerer Form.

2.2 Verkürzungsmerkmal

Modelle sind im Vergleich zum Original vielfach um einige Merkmale verkürzt, können aber auch um nicht dem Original entsprechende, zusätzliche Attribute erweitert werden. Beides kann intendiert oder nicht-intendiert sein:

- **nicht-intendierte Verkürzung**: Es sind noch nicht alle Originalattribute bekannt; es handelt sich vielleicht um eine vorläufige Modellvorstellung. Nicht-intendierte Verkürzungen werden vor allem im Rückblick auf historisch gewachsene Modellvor-

[6] Möller 1992, Seite 78.

[7] Popper, K: Wissenschaftslehre in entwicklungstheoretischer und in logischer Sicht. In: Popper, K: Alles Leben ist Problemlösen. München: Piper, 6. Auflage 1995. Seite 31

stellungen sichtbar; z.B. ist uns heute klar, an welchen Stellen die historischen Modellvorstellungen über den Aufbau der Atome Verkürzungen gegenüber der derzeit (!) gültigen quantenmechanischen Modellvorstellung über den Aufbau der Atome aufweist. Dort wo nur mit Modellvorstellungen gearbeitet wird, kann eine endgültige Bestimmung aller Originalattribute möglicherweise niemals vorgenommen werden.

- **intendierte Verkürzung**: Hierbei handelt es sich im Sinne Grüners[8] um eine vertikale didaktische Reduktion: Der Gültigkeitsumfang der Modellvorstellung wird durch bewusste Weglassung einer Reihe von Attributen verkleinert; demgegenüber steht der Gewinn einer verringerten Modellkomplexität.

- **nicht-intendierte Erweiterung**: Ein Modell kann durchaus Attribute haben, die nicht dem Original entsprechen. Dies kann wiederum auf Modelle zutreffen, die sich noch im Prozess der Entwicklung befinden.[9] Es kann sich aber auch um Artefakte handeln, die mit der Darstellung des Modells zusammenhängen. Beispielsweise ist bei der Darstellungen von Modellen im Computer die diskrete numerische Darstellung ein solches Artefakt, das im Gegensatz zum analogen Charakter der meisten Naturprozesse steht. Dies führt zu Attributen, die dem Original nicht eigen sind, beispielsweise zu einem Rundungsrauschen, zu in manchen Wertebereichen unsinnigen Werten, oder zu im Original nicht beobachtbaren Periodizitäten z.B. durch das zugrundeliegende Zahlensystem.

- **intendierte Erweiterung**: Um einige Attribute des Modells deutlicher darzustellen, werden zusätzliche hinzugefügt. Um beispielsweise das Verhalten von Elektronen im Magnetfeld dazustellen, wird das Aussehen der Elektronen als kleine Kugelgestalt blauer Farbgebung dargestellt. Es ist jedoch kein bekanntes Originalattribut des Elektrons, blau zu sein, und auch nicht, eine kugelige Gestalt zu haben!

Möller liefert dazu eine wichtige Einschränkung: „Ein Modell gestattet Aussagen nur innerhalb der Untermenge von Elementen des ganzen, die im Rahmen des Modellbildungsprozesses von Bedeutung waren“[10]. Etwas anders formuliert Harreis: „Ein Modell stellt nicht die Erkenntnis des wahren Wesens, z.B. eines physikalischen oder auch chemischen Vorgangs, dar. Man kann daher ein Modell in diesem Sinne nicht als richtig oder falsch bezeichnen, sondern nur als mehr oder weniger leistungsfähig im Sinne einer Abbildung der Realität auf die Modellebene“[11]. Zusammenfassend muss an dieser Stelle betont werden, dass beim Arbeiten mit Modellen - sei es in ingenieurmäßigem Zusammenhang zum Finden einer optimalen Problemlösung, sei es bei der Systemspezifikation eines Softwaresystems oder im didaktischen Zusammenhang beim Einsatz eines Modells zur Erklärung eines Phänomens:

- die Tatsache betont werden muss, dass es sich um ein Modell handelt,

---

[8] Grüner, G: didaktische Vereinfachung. In: Bausteine zur Berufsschuldidaktik. Trier: 1978.

[9] um an dieser Stelle nicht den subjektiven Begriff der „falschen Modellvorstellung“ zu gebrauchen.

[10] Möller 1992, Seite 78.

[11] Harreis 2000, Seite 107.

- die Modellgrenzen mit angegeben werden und
- die Modellgrenzen beim Einsatz beachtet werden müssen.

Beispielsweise lässt sich die Transitvariable „Stromfluss“ modellhaft sehr gut anhand der physikalisch analogen[12] Variable des „Volumenstroms“, z.B. des Wassers, darstellen. Diese Analogie muss aber an der Stelle scheitern, wo das Phänomen des Magnetismus erklärt werden soll. Hier wäre eindeutig eine Modellgrenze des ansonsten innerhalb seiner Grenze zur Erklärung vieler Vorgänge brauchbaren Modells erreicht.

2.3 Anwendungsmerkmal

Nach Harreis haben Modelle zwei primäre Funktionen:

a) Die Vorhersagefunktion: Vorstellungsmodelle, Computermodelle und Simulationsmodelle ermöglichen dem Menschen eine „Vorwegnahme von Handlungen“ zur Abschätzung der möglichen, wünschenswerten und weniger wünschenswerten Folgen. Die Ausbildung von Modellen ist eine sehr alte menschliche Fähigkeit, die zum Beispiel in Form von Modellvorstellung der Astronomie zur Voraussage von Erntezeiträumen aus sehr alten Zeiträumen überliefert sind. Mit Rechenwerken und Computern ließ sich die Leistungsfähigkeit von Modellen bei der Vorhersagefunktion so weit steigern, dass sie heute eine wesentliche Säule der Naturwissenschaften – z.B. Theoretische Physik, „Computational Physics“ und der Ingenieurwissenschaften geworden ist.

b) Die Deutungs- und Vermittlungsfunktion: Modelle dienen „der Deutung beziehungsweise der Erklärung von Vorgängen, die damit unserem Denken meist erst zugänglich gemacht werden“[13]. Dieser diese Art der Modellbildung hat seinerseits wiederum eine doppelte Implikation, denn sie steht

   - sowohl für die Bemühungen von Wissenschaftlern wie Planck, die mit der Einführung von Modellvorstellungen wie dem Wirkungsquantum Deutungsmöglichkeiten für bis dahin nicht verständliche Vorgänge suchen,
   - als auch für die Bemühung von Pädagogen, die vereinfachte Modellvorstellungen zur Erklärung von durch die Wissenschaft zwar bereits verstandene, aber im Unterricht durch inhärente Komplexität nicht ohne weiteres vermittelbare Vorgänge und Strukturen suchen.

Harreis verweist auf den begrenzten Bereich der dem Menschen direkt sinnlich zugänglichen Erfahrungen und bezeichnet diesen Erfahrungsbereich nach Vollmer als „Mesokosmos“[14]. Am besten zugänglich ist nach Harreis der Bereich der Mechanik, da dieser direkt haptisch

---

[12] Vgl. Möller 1992, Seite 78.

[13] Vgl. ebd. Seite 104.

[14] Vollmer, G.: Was können wir wissen? Stuttgart: Hirzel Verlag, 1985.

und visuell erfassbar ist, und somit dem Menschen eine umfassende eigene Erfahrungswelt zur Verfügung stellt.

2.4 Simulationsmodelle

Ein Simulationsmodell ist ein Abbild der Wirklichkeit[15]. Doch anders als bei einer Landkarte ist es nicht nur ein vereinfachtes Modell der realen Struktur, sondern auch ein Modell ihrer inneren Dynamik, der Abläufe und Entwicklungen, die in der Wirklichkeit stattfinden können.[16] Die Entwicklung von Modellen zur Simulation ist daher zu einem „wirkungsvollen Werkzeug der Analyse komplexer dynamischer Prozessvorgänge geworden, und Gegenstand interdisziplinärer Forschung“[17]. Der Wert derartiger Modelle liegt darin, „Informationen über das zu untersuchende dynamische System gewinnen zu können, welche normalerweise direkt nicht zugänglich sind, da mit dem realen System häufig nicht in der gewünschten Weise experimentiert werden kann“.

[15] Vester, F.: Neuland des Denkens: vom technokratischen bis zum kybernetischen Zeitalter. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1980. Seite 104

[16] Vgl. ebd.

[17] Möller 1992, Seite 77.

2.5 Semantische Stufen der Modellbildung

Möller nennt 6 semantische Stufen[18] der Modellbildung:

0. **Semantische Stufe**
   unstrukturierte Reize, „materielle Information".

1. **Semantische Stufe: Perzeptionsmodell**
   Die Funktion der internen Modellbildung führt zu einem „Bild" des Gegenstandes vor dem geistigen Auge. Dabei wird zwischen dem Perzeptionsmodell unterschieden, das direkt durch die Reize und Eindrücke gebildet wird, und dem kogitativen Modell (sic), das bereits durch vorhandene Informationen von dem Gegenstand, respektive durch Assoziationen von anderen Eindrücken erweitert ist.

2. **Semantische Stufe: Kommunikationsmodell**

   Um die Vorstellungen über den Gegenstand mit anderen Personen austauschen zu können, wird eine Ausdrucksform desselben in einer intersubjektiv verständlichen Sprache gebildet. Dies wird als Kommunikationsmodell bezeichnet.

3. **Semantische Stufe: Zeichenmodell**
   Die Lautform wird auf eine Zeichenform abgebildet.

4. **Semantische Stufe: Fachsprachliche Darstellung**
   Für das Zeichenmodell wird eine „Fachsprache" gebildet. Symbole und Begriffe werden verbindlich definiert.

5. **Semantische Stufe: Rechnermodell**
   Darstellung des Modells in einer formalen Sprache, um eine Abbildung des Gegenstandes im Rechner zu generieren.

Bemerkenswert ist, dass in dieser inkrementellen Darstellung das Rechnermodell vor allem auch eine Erweiterung des Kommunikationsmodells darstellt. Damit muss das Rechnermodell von vorne herein auch als Möglichkeit zum Transport, d.h. zur Kommunikation einer Modellvorstellung verstanden werden.

[18] Möller 1992, Seite 80 ff.

2.6 Definition von Modellgrößen

Parameter oder **Konstanten** sind Größen, die über die Beobachtungszeit konstant bleiben. Oft sind es Naturkonstanten, wie z.B. die Solarkonstante von 1,4 kW/m^2.

Exogene Größen sind Veränderliche, die auf das System einen Einfluss haben, auf die das System selbst aber keinen Einfluss nehmen kann.

Zustandsgrößen werden oft auch als Bestands- oder Speichergrößen bezeichnet. Ihr jeweiliger Zustand kennzeichnet auch gleichzeitig den Zustand des Gesamtsystems. Sie sind deshalb für die Entwicklung des Systems und für seine Beschreibung und Simulation von zentraler Bedeutung.

Zwischengrößen, Funktionen oder Abhängige Variablen sind ständig aus dem Systemzustand, also aus den Zustandsgrößen, berechenbar.

Anfangswerte der Zustandsgrößen bestimmen die weitere Entwicklung eines Systems entscheidend.

Die **Flüsse** oder **Veränderungsraten** der Zustandsgrößen bestimmen, ob und wie die Zustandsgrößen zunehmen und abnehmen.

2.7 Klassenbildung von Modellen

Der Ansatz der Bildung von Klassen, auch als Kategorisierung bezeichnet, ist es eine zeitlose ebenso wissenschaftliche wie lebensweltliche Methode der Komplexitätsreduzierung. Zunächst in der Literatur eingeführt wurde die klassische Kategorisierung wahrscheinlich durch Platon, der in seinem Werk „Staatsmann“[19] Objekte mit ähnlichen Eigenschaften in Klassen zusammenführte. Aristoteles greift in „Kategorien“ dieses Thema auf und definiert an dieser Stelle auch den Unterschied zwischen Klassen und Objekten. Später beschäftigten sich Thomas von Aquin in der „Summa Theologica“ und René Descartes in der „Ausrichtung des Geistes“ mit der Philosophie der Klassierung. Piaget beobachtet bei Kindern ab dem 2. Lebensjahr das Einsetzen der Objektkonstanz und darauf folgend die Fähigkeit zum Klassieren von Objekten, wie Hunde/Katzen, gefährliche Gegenstände usw. Marvin Minsky stellte 1970 in seinem Buch „The Society of Mind“ eine Theorie des menschlichen Verstandes vor, die ebenfalls das Phänomen der menschlichen Klassierungsfähigkeit nicht ausklammern kann.

Modelle lassen sich gemäß ihrer kennzeichenden Eigenschaften bestimmten Klassen zuordnen. Hierfür existiert mittlerweile eine große Zahl verschiedener Klassifizierungsmuster.

---

[19] Plato: Der Staat: Über das Gerechte. Aus dem Griechischen übersetzt von Otto Apelt. 11., erneut durchgesehene Auflage. Hamburg: Meiner 1989.

Eine mögliche Art der Klassifizierung wurde von Goldkuhle, Kohorst und Portscheller[20] veröffentlicht und nennt folgende idealtypische Eigenschaften zur Klassierung von Modellen:

offen es bestehen Wechselwirkungen mit der Umgebung z.B. Aquarium mit Verdunstung, Energiezufuhr	**abgeschlossen (idealtypisch)** es bestehen (so gut wie) keine Wechselwirkungen mit der Umgebung, z.B. Aquarium als Gefäß mit seinem Inhalt
dynamisch Systemgrößen verändern sich im Laufe der Zeit, z.B. Bevölkerung eines Raumes	**statisch** Systemgrößen sind unveränderlich, z.B. Bauwerk
kontinuierlich Systemgrößen ändern sich kontinuierlich, d.h. in beliebig kleinen Zeitabschnitten z.B. Temperatur einer Tasse Kaffee	**diskret** Systemgrößen ändern sich sprunghaft nach bestimmten endlichen Zeitabschnitten, z.B. Kapital bei jährlicher Verzinsung
determiniert unter identischen Bedingungen sind identische Folgezustände reproduzierbar, z.B. Kapitalentwicklung bei identischer Anlagedauer u. Verzinsung	**stochastisch** auch bei identischen Bedingungen sind Folgezustände nur durch Wahrscheinlichkeitsaussagen beschreibbar, z.B. Gesundheit eines Menschen
stabil bei „normalen“ Änderungen von Systemgrößen „kippt“ das System nicht	**instabil** schon bei „sehr kleinen“ Änderungen von Systemgrößen „kippt“ das System, z.B. Seiltänzer

Daneben sind zahlreiche weitere Möglichkeiten zur Klassifizierung denkbar und zulässig.

Für diese Klassierung wurden Eigenschaftspaare gebildet, die sich gegenseitig ausschließen. Dies setzt allerdings eine idealtypische Betrachtung voraus; in der Realität wird man auch unter Laborbedingungen nur annähernd, und nur unter bestimmten Aspekten, von der Umwelt abgeschlossene Systeme finden oder solche, deren Systemgrößen sich über einen längeren Zeitraum tatsächlich statisch verhalten.

[20] http://www.learn-line.nrw.de/angebote/modell/system00.htm

Allerdings liegt gerade hier wieder ein Fall der typischen Reduktion bei der Abbildung des realen Systems in ein Modell vor. Zwar werden sich in der Realität auch bei z.B. Gebäuden zeitliche Veränderungen der Kenngrößen, z.B. durch Setzungs- und Alterungsprozesse ergeben; jedoch müssen diese Veränderungen der Kenngrößen nicht betrachtet werden, um ein modellhaftes Verständnis des Systems „Haus“ als Gegenstand der Baustatik zu erhalten. Bei einer verfeinerten Betrachtung können dann wieder die dynamischen Eigenschaften hinzu genommen werden, wenn z.B. Erklärungen für Rissbildungen gesucht werden, oder wenn das Schwingungsverhalten z.B. des Glockenturms einer Kirche betrachtet wird.

Ebenso interessant ist das Übergangsverhalten eines Systems z.B. vom stabilen in den instabilen Zustand. Wesentliche Teile der Mess- Steuer und Regelungstechnik beschäftigen sich mit dem Entwurf möglichst stabiler Regelkreise. Häufig sprechen technische Gründe dagegen, ein System von vorne herein stabil zu bauen; Flugzeuge z.B. sind um so effektiver, je näher ihr Design an der Grenze zur Instabilität liegt. Für den schwierigen Übergangsbereich zwischen Stabilität und Instabilität müssen dann eigene Modelle entwickelt werden, die das technische System an dieser Stelle durch aktive Regelung sicher beherrschbar machen.

2.8 Sprache als Symbolsystem

Eine wichtiger Eigenschaft hoch entwickelter Lebewesen ist die Fähigkeit, mit Hilfe eines Symbolsystems zu kommunizieren. Für den Menschen ist diese Fähigkeit Grundlage seiner sozialen Entwicklung. Menschen teilen sich auch ihre Gedankenmodelle mit Hilfe dieser Symbolsysteme mit – sofern das Symbolsystem ihnen dieses ermöglicht.

Das Symbolsystem kann aber sehr verschiedene Ausprägungen haben:

- Eine Landessprache, das „geschriebene und gesprochene Wort“, in der die Bewohner eines Landes gewöhnlich z.B. im Rahmen ihrer Grundschulbildung für die Kommunikation im Alltags unterwiesen wurden. In unserem Kulturraum handelt es sich dabei um sequentielle, lautorientierte Sprachsysteme.

- Eine Fachsprache, die auf einer Landessprache aufsetzt und den Fachleuten eine präzise und kompakte Kommunikation über Gegenstände ihres Fachgebietes ermöglicht. Fachsprachen setzen heute vielfach auf die englische Sprache auf, um von vorne herein eine weltumspannende Kommunikation von Fachleuten zu ermöglichen.

- Spezialisierte Sprachen zur Abstraktion von Gegenständen und Lösungsverfahren, z.B. die algebraische Notation.

- Grafische Symbolsprachen.

Grafische Symbolsprachen sind vielfach ebenfalls spezialisierte Sprachen für die Abstraktion bestimmter Gegenstände. Ausnahme sind die im asiatischen Raum gebräuchlichen Symbole der geschriebenen Landessprache, die Bedeutungen nicht laut- sondern wort-orientiert ausdrücken. In der Technologie ist bildhaftes Denken bedeutsam: Da „Bilder gleichermaßen „offene Systeme“ sind, die fast automatisch Vergleiche, Gegenbilder und Analogien verlangen (...), bietet ein bildhaftes Denken weit mehr Ansatzpunkte als ein verbales oder

mathematisches, um etwa eine technische Idee, ja im Grunde jede Arbeit so zu entwickeln, dass sie mit dem Rest der Welt in Einklang steht“[21].

Auch die durch zahlreiche Arbeiten im Bereich von Echtzeitsystemen für Lockheed Missile and Space bekannt gewordenen Software-Ingenieure Ward und Mellor betonen[22] die Fähigkeit grafisch orientierter Symbolsprachen, den Transfer von Konzepten in Implementierungen zu fördern: „Zwei, ein komplexes Problem diskutierende Ingenieure, werden häufig als Hilfestellung einander Bilder zeichnen, um die betroffenen Konzepte zu klären.“ Sie betonen weiterhin: „Wenn eine grafische Modellierungssprache formalisierbar ist, besitzt sie alle Vorteile einer textorientierten Sprache, zuzüglich einiger zusätzlicher Vorteile“. Sie schränken aber ein: „Eine grafikorientierte Sprache muss offensichtlich eine textuelle Untermenge besitzen“.

Die wichtigste[23] Eigenschaft irgendeines Symbolsystems - ob sprachlich oder grafisch - muss sein, dass sie umfangreich genug ist, alles auszudrücken, was ausgedrückt werden soll. Auf der anderen Seite ist ein ideales Symbolsystem auch leicht erlernbar, so dass sich ein Anwender sehr schnell auf das Inhaltliche konzentrieren kann, und nicht durch die Notwendigkeit zum Auffinden eines Sprachelementes aus seinem Arbeitsfluss gezwungen wird. Jeder, der eine fremde Landessprache erlernt, kennt die Frustration, etwas ausdrücken zu wollen und nicht über das entsprechende Wort zu verfügen.

Damit ist dem Umfang der Symbolsprache eine Grenze gesetzt. Die Anforderungskriterien der Angemessenheit und der Erlernbarkeit bilden ein Spannungsfeld, in dem eine auf einen Problembereich bezogene Symbolsprache der Problemkomplexität angemessen sein muss.

Es bietet sich an, für einfache Problemstellungen eine komplexitätsreduzierte Symbolsprache zu wählen, und eine komplexere für umfangreiche Probleme.

Jedoch steht dem wiederum ein neuer Lernaufwand beim Erlernen der nächst komplexeren Sprache gegenüber. Um den Lernaufwand in Summe zu minimieren, sollte eine einheitliche Sprache gewählt werden, deren Komplexität sich schrittweise reduzieren lässt.

2.9 Methodik des Arbeitens mit Modellen

Als ein Beispiel für modellbildungsorientiertes wissenschaftliches Arbeiten soll eine Denkweise dienen, die von dem Wissenschaftstheoretiker Karl Popper[24] publiziert wurde und als **kritischer Rationalismus** bekannt geworden ist. Karl Popper bezeichnet wissenschaftliche Theoriearbeit als einen vierstufigen Prozess:

1. Problemerkenntnis.

---

[21] Vester 1980. Seite 478.

[22] Mellor, J.; Ward, P.: Strukturierte Systemanalyse von Echtzeit-Systemen. München, Wien: Hanser 1991.

[23] Ebd. Seite 21.

[24] Popper 1995.

2. Versuchsweise Theorienbildung.

3. Versuche der Elimination ungültiger Theorien durch experimentelle Prüfung und durch kritische Wissenschaftliche Diskussion - dies setzt eine Offenlegung der Theorie in einer verständlichen Sprache voraus. Wichtig ist, dass das Eliminationsverfahren auf dem Pluralismus der Lösungsmöglichkeiten aufbaut.

4. Formulierung neuer Probleme.

Man vergleiche dazu das für komplexes technisches Problemlösen charakteristische Modell der „vollständigen Handlung“:

1. Informieren,

2. Planen,

3. Entscheiden,

4. Ausführen,

5. Kontrollieren,

6. Bewerten.

Die Bewertung von Ergebnis und Bearbeitungsablauf und die Klärung der Frage, was beim nächsten Mal besser gemacht werden kann, schließt an dieser Stelle den Kreis und führt zum nächsten Problem, respektive zur nächsten Aufgabenstellung.

Die vollständige Handlung schließt alle Punkte der Wissenschaftstheorie des kritischen Rationalismus ein, und präzisiert und erweitert sie an vielen Stellen:

Die Problemerkenntnis findet in der Informationsphase der Vollständigen Handlung statt. Hier wird eine möglichst komplette Vorstellung über den Problemgegenstand und bereits existierender Lösungswege geprägt. Die Phase der Planung dient dazu, den erforderlichen Arbeitsablauf in Gedanken vorwegzunehmen, gedanklich also probezuhandeln. Der Ausführende legt sich hierbei eine Theorie des machbaren Problemlösungsvorganges zurecht. Wichtig ist, das zu diesem Zeitpunkt bereits Kontrollkriterien für die Qualität der Arbeitsausführung, also den Erfolg der Handlung festgelegt werden. Dies ist grundsätzlich auch eine wissenschaftliche Handlung: jedes Aufstellen einer Theorie ist verbunden mit der Möglichkeit ihrer Falsifizierung. Um Theorien falsifizieren und zu einer Theorie führende Experimente reproduzieren zu können, müssen konkrete Informationen gegeben sein.

Die Entscheidung über die Durchführung einer Handlung fällt unter Beachtung aller bis dahin zusammengetragenen Informationen, Lösungswege und Kontrollkriterien, vielfach im Rahmen eines dadurch vorbereiteten Gruppengespräches. Damit sind bereits einige konkurrierende Lösungswege eliminiert, die aufgrund gegebener Rahmenbedingungen als nicht verfolgbar eingeschätzt werden müssen. Während der Ausführung erfolgt eine prozessbegleitende Selbstkontrolle durch den Ausführenden, die durch eine Fremdkontrolle, z.B. durch einen Ausbilder (Leittextmethode) oder durch eine Instanz der Qualitätssicherung (ISO

9006) gefolgt wird. Da die Kriterien für den Erfolg bzw. Misserfolg der Handlung bereits während der Planung herausgestellt werden, wird an dieser Stelle die Theorie der Problemlösung, die in der Planungsphase gebildet wurde, nach objektivierten Kriterien verifiziert oder falsifiziert.

2.10 Abgrenzung zu anderen wissenschaftstheoretischen Begriffen

Modelle und Modellbildung sind nicht die einzigen konstituierenden Säulen der Wissenschaftstheorie. Zu mindestens zwei weiteren wichtigen Begriffen muss an dieser Stelle eine Abgrenzung erfolgen:

a) Gesetz
   Ein Gesetz ist die aus Beobachtung entstandene Formulierung von Kausalzusammenhängen, zum Teil mit axiomatischem Charakter. Ein zugrundeliegendes Modellbild existiert nicht. Ein bekanntes Gesetz der Technik ist das „Moore'sche Gesetz"[25], nach dem sich die Anzahl der Transistoren pro integriertem Schaltkreis etwa alle 18 Monate verdoppelt. Obwohl das Geflecht aus Marktdruck, Innovationsschüben und Kostenentwicklungen in der Halbleiterindustrie zu komplex und zufallsbestimmt ist, um ein geschlossenes Modell zu formulieren, folgt die reale Entwicklung dem Moore'schen Gesetz tatsächlich seit 1965. In der Physik existieren Gesetze vor allem in Form axiomatischen Sätzen wie den Erhaltungssätzen für Energie, Impuls oder Masse, für die weder ein Beweis noch ein Gegenbeweis gefunden wurde, und die nicht durch Entwicklung eines zugrunde liegenden Modells als vielmehr durch wiederholbare Beobachtung in den Rang eines „Naturgesetzes" gekommen sind. Vielfach sind Gesetze Hilfskonstruktionen, die dem Naturwissenschaftler eine Vorhersagefunktion auch für noch nicht verstandene Prozesse eröffnen. Ein Beispiel dafür sind die Strahlungsgesetze von Wien (1896) und von Rayleigh-Jeans (1900), die aus sorgfältiger Messung heraus formuliert wurden und für hohe (Wien) bzw. für niedrige Frequenzen (Rayleigh-Jeans) korrekte Vorhersagen erlauben, obwohl die zugrundeliegenden Vorgänge damals nicht verstanden waren und sich bei Frequenzen außerhalb des Gültigkeitsumfangs deutliche Abweichungen ergaben.

b) Theorie
   Über die Begriffe „Modell" und „Gesetz" hinausgehend handelt es sich bei einer Theorie um ein Gebäude von Gedanken, Modellen und Gesetzen, die unter einem bestimmten Namen bekannt sind. In Theorien kann eine oder können mehrere Modellvorstellungen enthalten sein, die dann aber aufeinander abgestimmt sein müssen, um zu einer „schlüssigen" Theorie der beobachteten Vorgänge zu kommen. Ein Beispiel dafür ist die BCS-Theorie der Supraleitung, die wiederum das Modell der Cooper-Paare enthält, um das Verschwinden des spezifischen Widerstandes in Festkörpern bei geringen Temperaturen zu erklären. Theorien beinhalten also Modelle, Gesetze und Vorhersagefunktionen; dazu kommt noch, dass man Theorien mit einem bestimmten Diskussionsstand in der wissenschaftlichen Gemeinde in Verbindung

[25] Moore, G.E.: cramming more components onto integrated circuits. Elektronische Publikation, 1965. Quelle: http://www.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf

bringen kann. Aus der Sicht des Didaktikers ist bedeutsam, dass für eine erfolgreichen Theorie im Lauf der Zeit vielfach Erklärungsmodelle entwickelt werden, die die Theorie einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen. Dadurch ist es mittlerweile z.B. gelungen, die spezielle Relativitätstheorie im Physikunterricht der Oberstufe den Schülern zugänglich zu machen.

3 Modellbildungskonzepte verschiedener Bezugswissenschaften

3.1 Vorgehensweisen zur Modellbildung und Modellerstellung in der Physik

Goldkuhle betrachtet es als die wohl wichtigste Aufgabe der Physik, aus der gezielten Beobachtung von Abläufen der realen Natur Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln, mit deren Hilfe man wiederum Vorhersagen für ähnliche Naturabläufe gewinnen kann. Wie Goldkuhle betont, sind diese Gesetzmäßigkeiten in der Physik vor allem mathematischer Art[26]. Auch die Richtlinien der gymnasialen Oberstufe für das Fach Physik zählen das Erschließen, Modellieren und Präzisieren von Modellvorstellungen an mehreren Stellen[27] zu den Aufgaben und Zielen des Faches Physik, und zu wichtigen Bestandteilen der Arbeit mit den Schülern. Bethge und Schecker[28] sprechen unter Verweis auf Arbeiten von Duit und Macdonald von einer aktuell zu verzeichnenden Überfrachtung des Physikunterrichtes mit mathematischen Formalismen und propagieren einen wesentlich stärkeren Einsatz von strukturorientierten Modellbildungssystemen.

Der Prozess der Bildung eines Modells in der Physik wird von Goldkuhle unter Verweis auf H. Hertz folgendermaßen dargestellt:

„Wir versuchen Folgezustände in der realen Umwelt vorauszusagen, indem wir:

1. vom jetzigen Zustand der Realität ausgehen,
2. die uns relevant erscheinenden Größen identifizieren,
3. sie und ihre Zusammenhänge vereinfacht in sprachlicher, grafischer oder formaler Darstellung ausdrücken
4. und mit Hilfe dieses praktikablen Konstruktes innerhalb der jetzt erreichten Modellebene Prognosen, Vorausberechnungen machen."

Der Prozess der Modellerstellung verläuft demnach grundsätzlich induktiv; der umgekehrte Prozess, einen Formalismus ohne vorhergehende Beobachtung der Realität aufzustellen, Vorgänge daraus abzuleiten, und dann aktiv nach Erscheinungsformen dieser Vorgänge in der

---

[26] Goldkuhle, P.: Modellbildung und Simulation im Physikunterricht. Einsatzmöglichkeiten computerunterstützter Modellbildungssysteme. In: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.): Heftenreihe Lernen mit neuen Medien im Unterricht. Bönen: Verlag für Schule und Weiterbildung, 1997.

[27] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Physik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999. S. 5, 6, 7, 13, 14, 18, 21, 23, 25, 26, 27, 40, 41, 62, 69, 77, ...

[28] Bethge, T.; Schecker, H.: Materialien zur Modellbildung und Simulation im Physikunterricht. Universität Bremen: Fachbereich Physik / Elektrotechnik, Institut für Didaktik der Physik, 1992.

Realität zu suchen, wird zumindest in der fachdidaktischen Grundlagenliteratur der Physik nicht beschrieben. Die Modellbildung im Physikunterricht ist in ihrer Art ein besonders deutliches Beispiel für die Modellbildung allgemein,

- weil die notwendigen Arbeitsschritte sich hier besonders klar voneinander abgrenzen lassen,
- weil mit der Mathematik ein besonders gut geeignetes Instrumentarium zur Beschreibung von Modellen und Modelleigenschaften besteht,
- weil der Erfolg der Physik seit jeher vor allem auf der guten Vorhersagbarkeit der physikalischen Vorgänge durch Anwendung von Modellen gründet.

Die Modellbildung zählt daher zu den Kernmethoden der physikalischen Wissenschaft. Offen bleibt dennoch bei den meisten Schilderungen, ob die Modellbildung als geistige Leistung eines einzelnen Individuums oder durch die konstruktive Zusammenarbeit mehrer Individuen erfolgt. Dabei hat dies deutliche Auswirkungen in Bezug auf die Kommunizierbarkeit des Modellbildungsprozesses. Mathematik als sequentielle Modellierungssprache bietet unbestreitbare Vorzüge in der präzisen und kompakten Beschreibung von Vorgängen, bei der Verarbeitung von experimentell ermittelten Messgrößen und der Erstellung von Vorhersagen; für die Kommunikation von Ideen innerhalb einer Gruppe hat diese Sprache jedoch deutliche Nachteile, weswegen auch Experten bei der Diskussion von Ergebnissen bevorzugt Graphen und Diagramme einsetzen.

Seit Anfang der 90er Jahre finden daher auch in der Physikdidaktik computergestützte grafische Modellbildungswerkzeuge auf breiter Ebene Einsatz, die sowohl eine grafische als auch eine formale Repräsentation des Modells des zugrunde liegenden Systems erlauben. Das Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen formuliert in den Richtlinien für das Fach Physik folgende Erwartungen an den Einsatz dieser grafischen Werkzeuge:

- Steigerung der begrifflichen Kompetenz der Schülerinnen und Schüler;
- Analyse von Modellen, die wesentlich realitätsnäher und kontextorientierter sind. Hintergrund ist, dass sich eine zu große Anzahl von alltäglichen Prozessen für eine formale Beschreibung in der Gymnasialen Oberstufe verbieten, weil hier das mathematische Werkzeug zur Beschreibung z.B. von Reibungsvorgängen noch nicht vorausgesetzt werden kann;
- Bessere Kontrolle, inwieweit die Wirkungszusammenhänge von den Schülerinnen und Schülern verstanden worden sind;
- Erkennen von physikalischen Abläufen als ein durch Wechselwirkung geprägtes systemisches Verhalten physikalischer Größen;
- Effiziente Untersuchung des gleichen Modells auf verschiedenen Ebenen;
- Verstärkte Eigenaktivität der Schüler im Bereich der Theoriebildung durch freies Experimentieren der Schüler mit ihren grafisch formulierten Theorien;

- Ein Medienbruch weniger, da das grafische Modellierungssystem parallel als Unterrichtsmaterial und als Mittel zur Auswertung umfangreichen Datenmaterials Verwendung finden kann.

3.1.1 Das Forrester-Schema der System Dynamics

Zur Modellierung dynamischer Systeme im Physikunterricht sind die Programmpakete STELLA, MODUS, Powersim und DYNASYS besonders gebräuchlich.

- STELLA ist ein am Dartmouth College von Barry Richmond entwickeltes Softwaresystems zur dynamischen Modellierung, das aktuell in der Software-Version 7.0 von der Firma HPS vertrieben wird[29].

- MODUS ist die ursprüngliche, unter MS-DOS eingesetzte Variante.

- Powersim ist ein Produkt der gleichnamigen norwegischen Firma, die sich mit der Herstellung von strategischen Softwarelösungen und Entscheidungssystemen für Unternehmen wie Ford, Boeing, Nestle und British Telecom befasst.

- DYNASIS ist von Walter Hupfeld für die Anforderungen des Physikunterrichtes angepasst worden und entspricht einem vereinfachten STELLA.

Allen genannten Modellbildungssystem ist gemeinsam, dass sie sich auf den systemdynamischen Ansatz nach Forrester[30] stützen, der seine Wurzeln bei der Modellierung betriebswirtschaftlicher Vorgänge hat[31]. Die bekannte, 1972 vom Club of Rome veröffentlichte Studie[32] „Die Grenzen des Wachstums“ formulierte die komplexen Zusammenhänge und Folgen des exponentiellen Bevölkerungswachstums mit Modellen nach dem Forrester-Schema. Die Beispiele für Prüfungsaufgaben in der schriftlichen Abiturprüfung[33], die in den Richtlinien für den Physikunterricht in der Gymnasialen Oberstufe veröffentlicht werden, enthalten ebenfalls Modelle, die in diesem Schema dargestellt wurden.

---

[29] http://www.hps-inc.com

[30] Forrester, J.W.: Grundsätze einer Systemtheorie. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1972.

[31] Jay W. Forrester hat als Elektrotechniker am MIT zwischen 1946 und 1951 eine Reihe von Meilensteinen des Computerzeitalters gesetzt, darunter den ersten Hochgeschwindigkeits-Großrechner „Whirlwind I“. Er gilt als der Erfinder des magnetischen Kernspeicher-RAM. Seit 1956 arbeitet er an der Sloane School of Management, wo er die System Dynamics eingeführt hat. Derzeit arbeitet Forrester an einem Computerprojekt für die Regierung, das die Erstellung eines Gesamtmodells der US-Wirtschaft zum Inhalt hat, mit dem die Regierung kritische Faktoren überwachen und Auswirkungen ihrer Entscheidungen im Vorfeld simulieren kann.

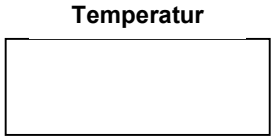
[32] Meadows, D. et al.: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: 17. Auflage 2000.

[33] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Physik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

In der Sektion „Physik“ des Arbeitsbereich „Modellierung und Simulation dynamischer Systeme“ des Medienservers „Learn-Line“ des Landes NRW befanden sich im Juni 2001 genau 52 Modelle dynamischer Systeme, aus Gebieten wie Mechanik, Thermodynamik, Radioaktivität und Elektrodynamik, die im Forrester-Schema formuliert und in einem der genannten computergestützten Modellbildungssystemen einsetzbar sind. Der Arbeitsbereich enthält auch eine Reihe von Verweisen zu den Herstellern computergestützter Modellbildungssysteme, jedoch sind nur Produkte aus der Reihe der oben genannten vertreten. Damit scheint zumindest in Nordrhein-Westfalen die Position des Forrester-Schema als Modellierungswerkzeug für den Physikunterricht gefestigt.

Ein Modell im Forrester-Schema besteht aus aufeinander bezogenen Elementen, zwischen denen Beziehungen als mathematische Funktionen definiert sind. Für die verschiedenen Elementtypen sind bestimmte Symbole definiert.

Zustandsgrößen werden mit einem einfachen Rechteck dargestellt. Die Bezeichnung des Zustandes wird über (STELLA) oder unter das Rechteck (DYNASYS) geschrieben.



In dynamischen Systemen sind es die Zustandsgrößen, die Veränderungen gemäß einer bestimmten Veränderungsrate unterliegen. Diese Veränderungen werden als Zuflüsse (Veränderungsraten mit positivem Vorzeichen) oder Abflüsse (negatives Vorzeichen) symbolisiert.

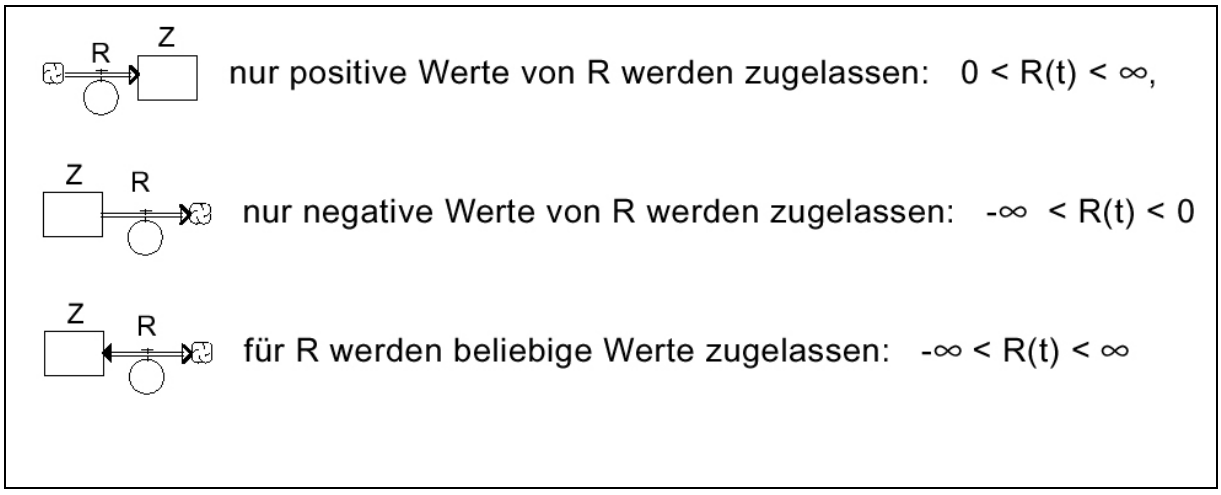


Abbildung 2: Symbole für Veränderungsraten in STELLA (Schecker 1998)

Die Veränderungsraten R selbst steuern die Zu- bzw. Abflüsse. Entsprechend werden die Veränderungsraten als Ventile symbolisiert (kreisförmiges Symbol), die auf den zu- oder Abflüssen reiten und steuernd auf diese eingreifen. Wenn die abfließenden Ströme das System verlassen, bzw. der Zufluss einer zu einer Zustandsgröße von außerhalb des Systems rührt, wird dies durch ein Quellen/Senken-Symbol dargestellt. Diese Symbole bilden die Schnittstellen des Modells nach außen.

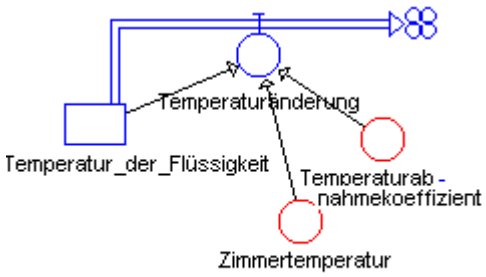


Abbildung 3: Abkühlung einer Flüssigkeit (Goldkuhle 1997)

Die Veränderungsrate ist selbst eine Größe, die sich in der Zeit ändern kann. Dabei ist der aktuelle Wert der Veränderungsrate von weiteren Größen abhängig. Diese Größen werden in STELLA und DYNASYS unterschieden in:

- den schon besprochenen **Zustandsgrößen**, die vom Zustand des Systems abhängig sind, und den Zustand des Systems bestimmen;
- den **exogene Größen** - unabhängige Variablen, die sich nicht aus den system-immanenten Zustandsgrößen ergeben und nicht von System beeinflusst werden können;
- den **Zwischengrößen,** die vom Zustand einer oder mehrerer Zustandsgrößen oder exogener Größen abhängig sind.

Im obigen Beispiel[34] ist die Temperaturänderung einer abkühlenden Flüssigkeit von den exogenen Größen „Zimmertemperatur“ und „Temperaturabnahmekoeffizient“ abhängig. Bei diesem Modell wird angenommen, dass die exogenen Größen nicht von der Zustandsgröße des Systems beeinflusst werden; dass also z.B. die von der Flüssigkeit abgegebene Wärmemenge nicht zu einer Erwärmung des Zimmers führt. Der Temperaturabnahmekoeffizient wird in diesem Modell als eine exogene Größe angegeben, ist aber tatsächlich sehr komplex; er ließe sich genauso als eine Zwischengröße verstehen, der von einer Reihe anderer exogener Größen abhängt: der Isolierung des Gefäßes, der Luftbewegung außerhalb des Gefäßes, des Emissionskoeffizienten des Gefäßes als grauer Strahler, und vielleicht noch weiteren Faktoren.

Das Symbol für eine Zwischengröße ist ebenfalls ein Kreis; der grafisch erkennbare Unterschied zur exogenen Größe ist lediglich, das die Zwischengröße über pfeilförmige Verbindungen mit weiteren Eingangsgrößen verbunden ist. Manche Modellbildungswerkzeuge unterstützen eine farbliche Kennzeichnung; so werden z.B. bei DYNASYS exogene Größen durch einen roten Kreis gekennzeichnet, Zwischengrößen durch einen blauen.

[34] Aus: Goldkuhle 1997. Seite 189.

Aufbauend auf diesen Symbolen lassen sich komplexe Modelle mit dynamischem Verhalten erstellen, die teilweise keine geschlossene Lösung mehr zulassen. Das Beispiel[35] zeigt das DYNASIS-Modell eines Duffing-Oszillators.

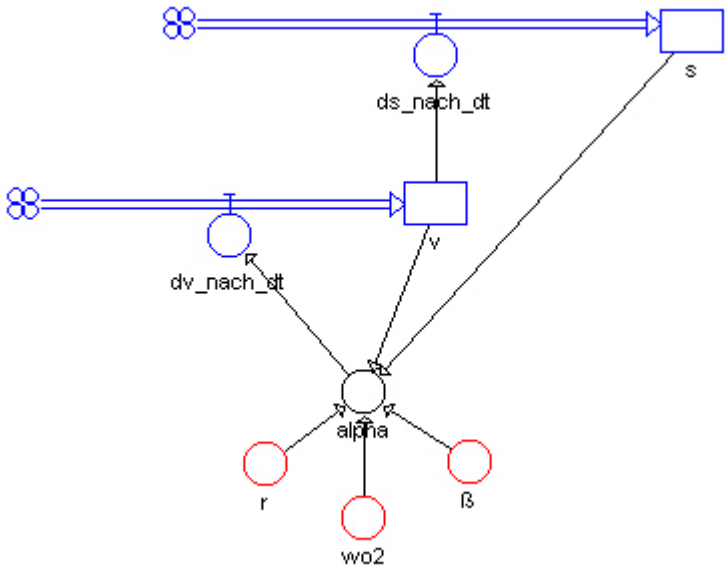


Abbildung 4: DYNASIS-Modell des Duffing-Oszillators (Goldkuhle 1997)

Der Duffing-Oszillator wird beispielsweise durch ein bifilares Fadenpendel realisiert, das in einer Ebene über zwei auf dem Boden eingelassenen Magneten schwingt.

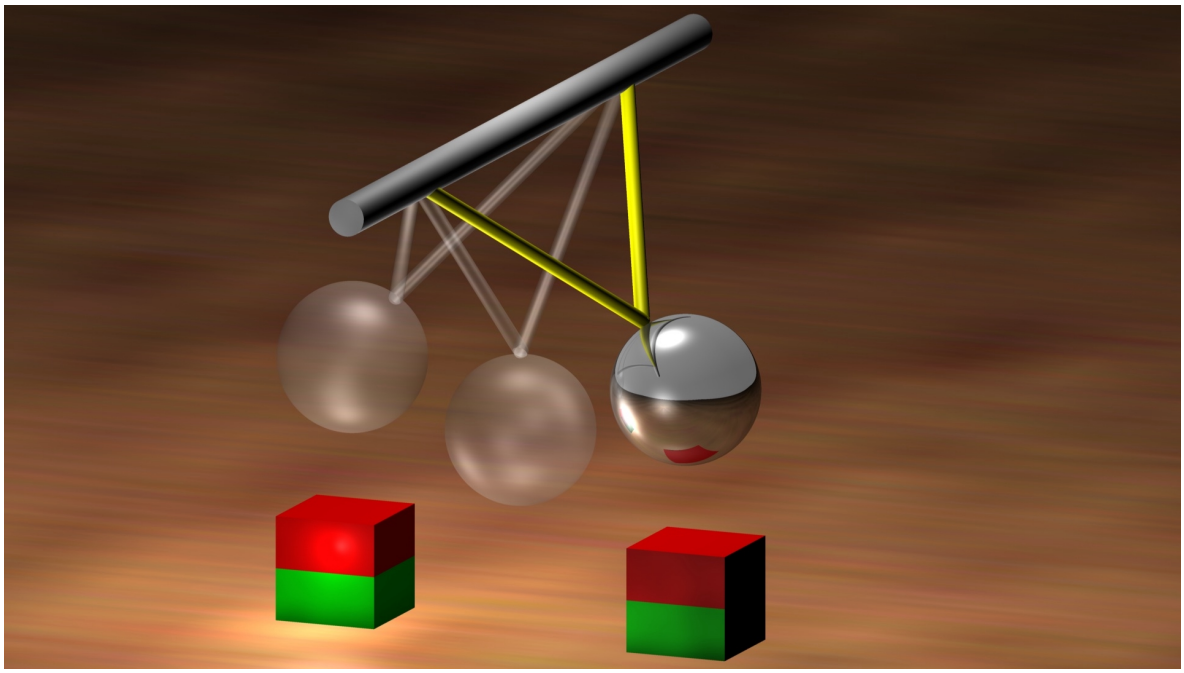


Abbildung 5: Bifilares Pendel über zwei Magneten („Duffing-Oszillator“)

[35] Aus: Ebd. Seite 119.

Die Eisenkugel des Duffing-Oszillators kann aufgrund der bifilaren Aufhängung lediglich entlang der Achse pendeln, die durch die beiden Magnete geht. Die Potentialfunktion V(s) entlang dieser Achse hat zwei Minima symmetrisch zum Ursprung. Dies ergibt die Nichtlinearität der Rückstellkraft, die für das chaotische Verhalten des Duffing-Oszillators verantwortlich ist.

Die DGL für den Duffing-Oszillator hat die Form:

$$(1) \qquad m\ddot{s} = -Ds - R\dot{s} - Cs^3$$

wobei:

- $-Ds$ die Rückstellkraft des einfachen Fadenpendels ist; (Annahme: anders als in der Abbildung geringe Ausschläge, so dass $sin(x) \cong tan(x) \cong x$)
- $-R\dot{s}$ eine schwach dämpfende Reibungskraft, die als proportional zur Geschwindigkeit angenommen wird;
- $-Cs^3$ die Nichtlinearität, die durch das Potential der Magnete hervorgerufen wird.

Nach Division durch m und Substitution von:

$$r = R/m; \qquad \omega_0^2 = D/m\,; \quad \beta = C/m; \qquad v = \dot{s}\,; \qquad a = \ddot{s}$$

Ergibt sich für a der Ausdruck:

$$(2) \qquad a = -rv - s(\varpi_0^2 + \beta s^2)$$

Im DYNASIS-Modell von P. Goldkuhle wird der Zusammenhang der Zustandsgrößen *s* und *v* über *a* als Zwischengröße (dargestellt und hervorgehoben als *alpha*) hergestellt, wobei die Zwischengröße *a* von den exogenen Größen *r,* β und ω_0^2 abhängig ist. Die Modellbildungswerkzeuge verfügen über Dialogfenster und Assistenten, mit deren Hilfe sowohl die Veränderungsgrößen als auch die Zwischengrößen durch einen Ausdruck mit einen oder mehreren Abhängigkeiten beschrieben werden können.

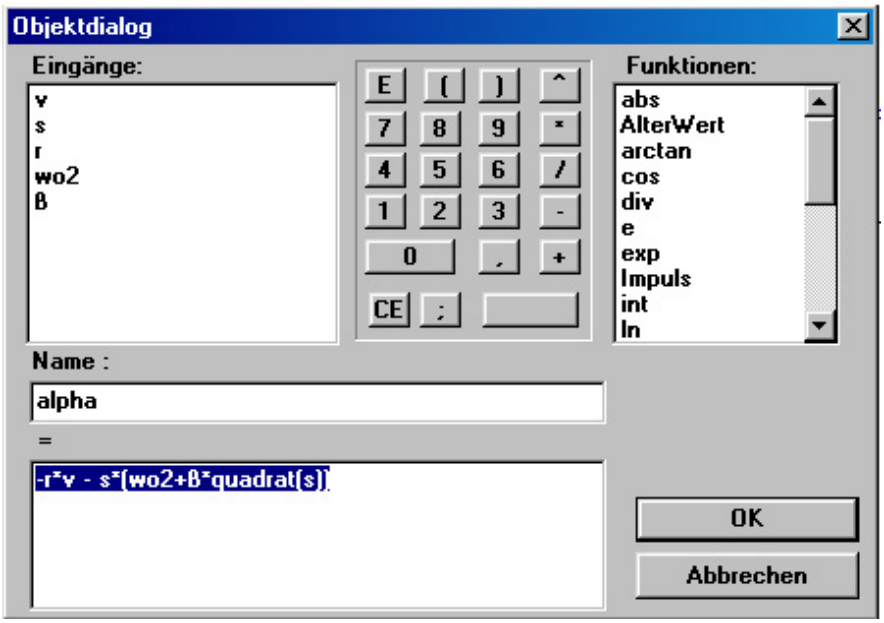


Abbildung 6: Objektdialogfeld von DYNASYS

Die Abbildung zeigt das Objektdialogfeld von DYNASYS; es kann komplett mit der Maus bedient werden. Im unteren Feld ist der Zustandsgröße *alpha* der Ausdruck (2) zugewiesen worden (Markierung). Die Systemgrößen, zu denen im Modell eine grafische Verbindung besteht, werden im Feld „Eingänge“ dargestellt; andere Variablen als die in diesem Feld gezeigten können nicht für Ausdrücke innerhalb dieses Dialogfeldes verwendet werden und werden vom internen Spell-checker abgewiesen.

Mit ähnlichen Dialogfeldern können auch Werte für exogene Größen und Startwerte für Zustandsgrößen zugewiesen werden. Im Anschluss an die Eingaben kann das Systemverhalten simuliert werden. Die Modellbildungswerkzeuge stellen eine Reihe von Tools zur Auswertung bereit, u.A. Diagramme für den zeitlichen Verlauf einer Variablen und Phasendiagramme.

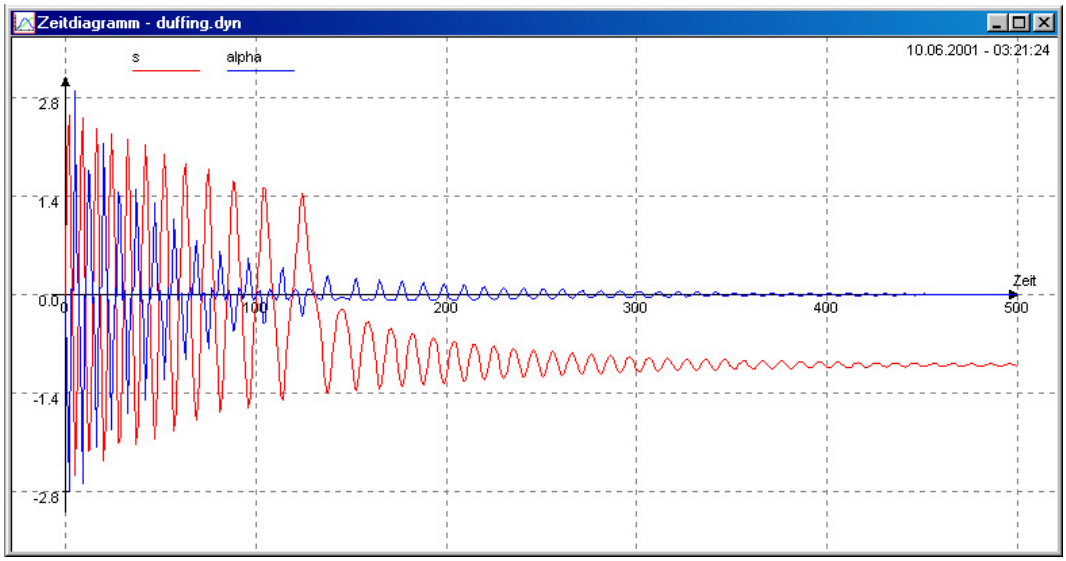


Abbildung 7: s(t), a(t) Diagramme des Duffing-Oszillators, erstellt mit DYNASYS

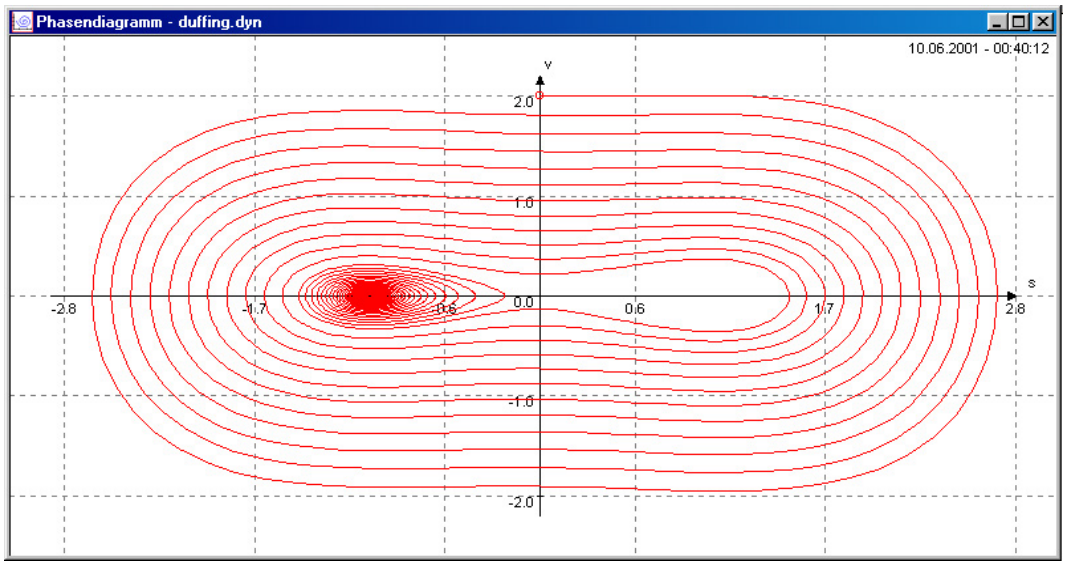


Abbildung 8: (s,v)-Phasendiagramm des Duffing-Oszillators (DYNASYS)

Die Abbildungen zeigen die Weg-Zeit-, Beschleunigung-Zeit-, und Geschwindigkeit-Weg-Diagramme, die das Modellbildungssystem nach der Eingabe der exogenen Größen und der

Startwerte für die Zustandsgrößen erstellen können, ohne das von Seiten des Bedieners eine Programmierung erfolgen muss. Man erkennt deutlich das typische Verhalten des Duffing-Oszillators, sich nach einer endlichen Zahl von Perioden stabil in der Nähe eines der beiden Attraktoren einzuschwingen. Mit dem Modellbildungssystem kann nachgewiesen werden, dass es von mikroskopischen Änderungen der Eingangsbedingungen (Zustandsgrößen und exogene Größen) abhängt, für welchen der beiden Attraktoren sich der Duffing-Oszillator entscheidet. Fügt man eine periodische Anregung hinzu, zeigt der Duffing-Oszillator chaotisches Verhalten.

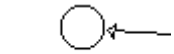
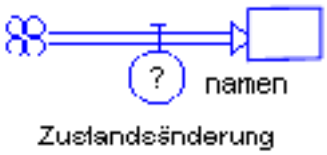
	exogene Größe
	Zwischengröße
	Zustandsgröße
	Zustandsänderung, Veränderungsrate

Abbildung 9: Zusammenfassung der grafischen Symbole des Forrester-Schemas

3.1.2 Weitere grafische Modellierungswerkzeuge

Im süddeutschen Raum wird bei Lehrerfortbildungen häufig das Programmpaket PAKMA eingesetzt. PAKMA (Physik AKtiv Messen Modellieren Analysieren und Animieren) ist am physikalischen Institut der Universität Würzburg entwickelt worden. PAKMA dient zunächst der Erfassung und Verarbeitung von bei physikalischen Experimenten gewonnenen Messwerten. Mit dem Zusatzprogramm VisEdit ist es möglich, physikalische und technische Wirkungsgefüge graphisch darzustellen und daraus automatisch ein Rechenmodell generieren zu lassen. PAKMA unterstützt dazu drei Integrations- und zwei Differentiations-Näherungs-Verfahren.[36]. Insbesondere in der grafischen Repräsentation weicht PAKMA bzw. VisEdit dabei

[36] Heuer, D. u. a.: PAKMA-Softwarewerkzeug mit Dokumentationen, Anleitungen und ca. 40 Beispielen zum Physikunterricht auf der Begleit-CD zu den Handreichungen für den Physikunterricht im Gymnasium, Bd. 4 Computereinsatz im Physikunterricht Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung (Hrsg.:), München 1996.

Heuer, D.: Dynamische Physik-Repräsentationen - Verständnishilfen für Physikalische Experimente. Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 45. Jg., Heft 4, S. 12-18, 1996.

deutlich von der Symbolsprache von STELLA und DYNASYS ab. Bei näherer Betrachtung erkennt man aber schnell das gleichartige zugrundeliegende Konzept der Aufteilung.

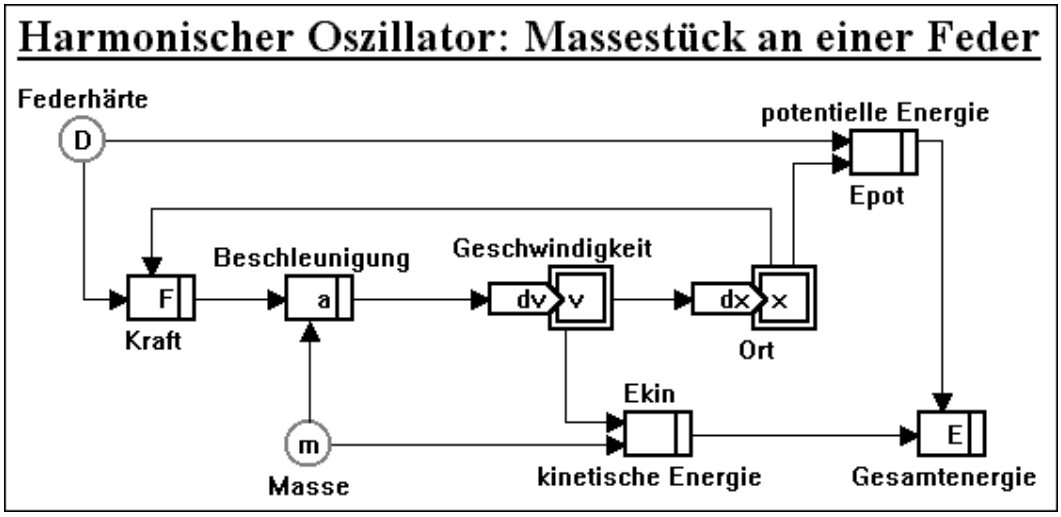


Abbildung 10: das dynamische Systemmodell eines Federpendels[37]

Zustandsgrößen werden bei VisEdit als Sammelgrößen bezeichnet und durch einen Kasten mit doppeltem Rahmen visualisiert; im obigen Beispiel sind dies Ort und Geschwindigkeit. Die Zustandsänderungen oder Flüsse werden, ohne Beachtung des Vorzeichens, als eingelassene Pfeilspitzen mit Differentialsymbol (*dv*, *dx, ...)* dargestellt.

VisEdit unterscheidet nicht zwischen exogenen Größen und Zwischengrößen; beide werden hier „Funktionsgrößen“ genannt und durch einen Kasten mit senkrechtem Querstrich auf der rechten Seite bezeichnet.

Im Gegensatz zu STELLA und DYNASYS sind jedoch Konstanten und Variablen bei VisEdit deutlich unterscheidbar; Konstanten werden hier durch Kreise mit eingedrucktem Formelzeichen (Federkonstante D, Masse m) dargestellt. Diese Unterscheidung hat eine größere Nähe zum analytischen Vorgehen bei der Modellierung physikalischer Probleme mit Gleichungssystemen und scheint daher für den Einsatz im Physikunterricht sehr sinnvoll, sogar sinnvoller als die systemtheoretisch begründete Unterscheidung zwischen exogenen und endogenen Größen bei STELLA und DYNASYS (wobei sich beide Arten der Bezeichnung ja nicht unbedingt gegeneinander ausschließen).

Die Eingabe der die Größen beschreibenden Gleichungen findet genau wie bei STELLA und DYNASYS statt; mit VisEdit und PAKMA ist es ebenfalls möglich, Simulationsläufe am System durchzuführen. Dabei ist bei VisEdit durch die Kombination mit dem Messwerterfassungssystem PAKMA für den hervorragenden Datenabgleich mit dem Realexperiment gesorgt.

[37] http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/visedit/visedit_beisp_06.html

3.1.3 Numerische Probleme bei der Realisierung von Modellen und Simulationen in der Physik

Wie bereits festgestellt, ist eine der wichtigsten Aufgaben der Physik, aus der gezielten Beobachtung von Abläufen der realen Natur Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln, mit deren Hilfe man wiederum Vorhersagen für ähnliche Naturabläufe gewinnen kann. Dies ist der Physik unter Einsatz mathematischer Methoden möglich; entsprechend besteht an physikalische Modelle der Anspruch, quantitative Vorhersagen zu liefern.

Ist für ein Problem keine analytische Lösung bekannt, kommen daher numerische Verfahren zum Tragen. Alle oben diskutierten Modellbildungssysteme der Physik bieten nicht nur die Möglichkeit der Visualisierung der Systemzusammenhänge im Modell; sie verfügen dazu noch über numerische Verfahren, mit dem aus dem einmal skizzierten Systemzusammenhang das Verhalten des Systems unter Angabe der Startbedingungen und der exogenen Größen simuliert werden kann. Wie die Darstellung des Duffing-Oszillators im Vorhergehenden Abschnitt zeigt, kommen die Modellbildungssysteme dabei zu recht guten Darstellungen des Systemverhaltens, ohne dass ihnen die analytischen Lösungen des Problems bekannt sind.

Dabei sind grafische Modellbildungsverfahren nur ein (wenn auch recht moderner) Ansatz zur Modellbildung in der Physik. Wesentlich älter und weit über die Fachgrenze hinaus in allen angrenzenden Disziplinen (z.B. Ingenieurswissenschaften) finden wir die Methoden der numerischen Physik oder „computational Physics“ wieder, bei denen Rechenvorschriften ein computergestütztes Modell für einen physikalischen Vorgang ausmachen.

Eine Reihe von Verfahren zur numerischen Simulation des Systemverhaltens sind bekannt; da alle Verfahren einen eigenen Satz von Problemen und Vorteilen haben, muss man beim Einsatz eines Verfahrens in einer bestimmten Simulation sorgfältig abwägen. Kriterien für den Einsatz eines Verfahrens bei der Realisierung eines Modells können sein:

- Numerische Genauigkeit des Verfahrens (d.h. die Fehlerordnung);
- Rechenaufwand des Verfahrens in Bezug auf die an die Simulation gestellten Anforderungen;
- Transparenz des Verfahrens in Bezug auf den Einsatz im Unterricht: ist das Verfahren mehrschrittig und komplex (Beispielsweise das Runge-Kutta-Verfahren), so besteht die Gefahr, dass der Schüler den Blick auf das dahinter stehende physikalische Problem verliert.

Wichtige Vertreter numerischer Verfahren sind:

- die Varianten des Euler-Algorithmus,
- das Runge-Kutta-Verfahren,
- der Leapfrog-Algorithmus.

Die Modellbildungssysteme STELLA und DYNASYS verwenden intern das Euler-Cauchy-Verfahren und das Runge-Kutta-Verfahren. Das numerische Verfahren wird dabei sorgfältig vor dem Benutzer verborgen; sein Einwirken beschränkt sich auf einen Auswahldialog, bei dem er das zu verwendende Verfahren auswählt und einige Grundeinstellungen wie Schrittweite und Schrittzahl einstellen kann.

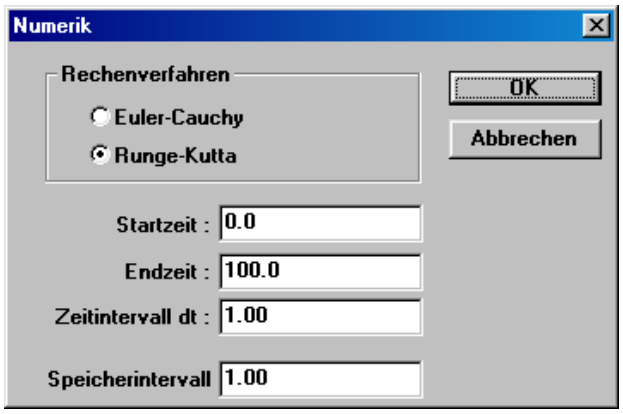


Abbildung 11: Dialogfeld zum numerischen Verfahren (DYNASYS)

Euler-Verfahren, Runge-Kutta-Verfahren und Leapfrog-Verfahren sind in einschlägiger Literatur, z.B. in mathematischen Formelsammlungen, umfassend und mathematisch präzise dokumentiert[38]. Die folgenden Darstellen sollen daher vor allem die Hintergründe, Prinzipien und Vor- und Nachteile der Verfahren umreißen.

3.1.3.1 Euler-Verfahren

Das Euler-Verfahren ist das am einfachsten zu verstehende numerische Verfahren; gleichzeitig bietet es die Grundlage für alle fortgeschritteneren Verfahren, so dass ein Verständnis dieser Verfahren nicht ohne Verständnis des Euler-Verfahrens möglich ist.

Wenn man weiß, wie sich das System in dem Zustand, in dem es zum Zeitpunkt t ist, innerhalb eines Zeitraums Δt verändert, kann man den Zustand des Systems zum Zeitpunkt $(t+\Delta t)$ abschätzen. Wenn man also weiß,

- wo ein Fahrrad zum Zeitpunkt t ist,
- wie schnell es sich zu dieser Zeit t bewegt,
- und wie stark (in m/s^2) es bei dieser Geschwindigkeit durch Reibung verzögert wird

so kann man in einem Rechenschritt auf der Grundlage dieser Werte

- mit Hilfe der Geschwindigkeit auf den Ort des Fahrrades nach Ablauf des Zeitraums Δt schließen;

[38] Eine Internetrecherche mit der Suchmaschine „Google“ am 10. Juni 2001 ergab 33.000 Treffer auf den Suchbegriff „Runge-Kutta“.

- mit Hilfe der Verzögerung die neue Geschwindigkeit v(t+Δt) des Fahrrades bestimmen, die es nach Ablauf des Zeitraumes Δt noch haben wird.

Damit ist das System zum Zeitpunkt (t+Δt) wieder bestimmt; die Verzögerung als Zwischengröße ergibt sich ja direkt aus einem formelmäßigen Zusammenhang, in den die Geschwindigkeit eingeht.

Mit anderen Worten wird beim einfachen Euler-Verfahren der Zustand des Systems zum Zeitpunkt (t+Δt) aus der Steigung der Tangente zum Zeitpunkt t errechnet:

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + \dot{Y}(t) \cdot \Delta t$$

denn die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t ist nichts anderes als die Steigung der Ortskurve zu diesem Zeitpunkt.

Und damit ist auch das wesentliche Problem des Euler-Algorithmus angesprochen. Man hatte angenommen, dass das Fahrrad durch eine von der Geschwindigkeit abhängigen Reibung verzögert wird. Und man errechnet, wie sich diese am Zeitpunkt t wirkende Verzögerung im Zeitraum Δt auf die Geschwindigkeit auswirkt.

Dabei verschließt man allerdings davor die Augen, dass sich ja durch die Änderung der Geschwindigkeit im Zeitraum Δt auch unterwegs die Reibung, und damit die Verzögerung, ändert. Die Tangente ist also auf dem größten Teil des Weges zwischen t und (t+Δt) gar nicht so, wie es in der Startbedingung angenommen wird. Ändert sich die Steigung der Tangente ständig in die gleiche Richtung, wie bei Parabeln oder Exponentialfunktionen, so summiert sich dieser Fehler auf Dauer in eine Richtung auf, und stellt das Ergebnis der Simulation in Frage.

3.1.3.2 Improved Euler/Euler-Cauchy/Heun's Method/Halbschrittverfahren

Vor diesem Hintergrund entstanden die „verbesserten Euler-Verfahren", das auch unter „Halbschrittverfahren", Euler-Cauchy" oder als „Heun's Method" bekannt sind.

Ziel aller dieser Methoden ist, nicht die Steigung zum Zeitpunkt t anzusetzen, sondern die Steigung abzuschätzen, die im Mittelwert für den Übergang zwischen t und (t+Δt) zu erwarten ist.

Dazu sind zwei Methoden denkbar:

1) Wir ermitteln dazu wie beim einfachen Euler-Verfahren zunächst eine erste grobe Schätzung des Systemzustandes zum Zeitpunkt Δt. Dies soll reichen, um abzuschätzen, welche Tangentensteigung (d.h. Geschwindigkeit, Reibung...) ungefähr zum Zeitpunkt (t+Δt) zu erwarten ist; ansonsten werden alle Ergebnisse aus dieser Abschätzung umgehend wieder verworfen.

   Aus der bekannten Steigung zum Zeitpunkt t und der geschätzten Steigung zum Zeitpunkt (t+Δt) wird nun der arithmetische Mittelwert gebildet, und für den eigentlichen Rechenschritt gemäß der Gleichung:

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + \frac{\dot{Y}(t) + \dot{Y}(t+\Delta t)}{2}\Delta t$$

genutzt.

Auf das Fahrradbeispiel übertragen würde das bedeuten, das wir zunächst die Durchschnittsgeschwindigkeit abschätzen, mit der sich das Fahrrad im Zeitraum Δt bewegen wird. Anstelle der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t wird dann diese Durchschnittsgeschwindigkeit mit Δt multipliziert und für die tatsächliche Bestimmung des Ortes zum Zeitpunkt (t+Δt) genutzt.

2) Man geht davon aus, dass auf halbem Weg zwischen t und (t+Δt), also bei (t+0.5Δt), die Steigung der unbekannten zugrundeliegenden Funktion ungefähr der des gesuchten Mittelwertes entspricht.

   Das „Halbschritt-Verfahren“ kommt daher ohne Mittelwertbildung aus, indem es die Steigung aus einer Abschätzung des Systemzustandes zum Zeitpunkt (t+0.5Δt) ermittelt:

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + \dot{Y}(t+0.5\Delta t)\cdot\Delta t$$

   Bei vielen Funktionen, deren erste Ableitungen stets lineare Funktionen ergeben, ist diese Annahme auch berechtigt; bei z.B. Exponentialfunktionen dagegen leider überhaupt nicht.

In zahlreichen Systemen verändern sich die Zwischengrößen allerdings gemäß exponentieller Zusammenhänge; in chaotischen Systemen (wie dem Duffing-Oszillator) herrschen grundsätzlich nichtlineare Zusammenhänge. Für solche Systeme ist sind Euler-Verfahren ungeeignet, da sie in jedem Fall auf der Grundlage eines linearen Verlaufes der Steigung zwischen den beiden Stützpunkten basieren.

Bei der einfachen Exponentialfunktion

$$Y(t) = \exp(t)$$
$$\dot{Y}(t) = \exp(t)$$

würde das Halbschritt-Verfahren ständig von einem zu kleinen Mittelwert ausgehen. Da die Ableitung einer Exponentialfunktion wiederum eine Exponentialfunktion ist, sind die Steigungen auf der rechten Seite des Halbschrittes alle zu groß, auf der linken Seite zu klein. Dieser Fehler kulminiert.

Die Betrachtung nichtlinearer Systeme wie dem Duffing-Oszillator hat gelehrt, dass hier schon sehr kleine Änderungen des Systemzustandes zu makroskopisch großen Änderungen des Systemzustandes führen. Wenn diese Eigenschaft auf das Modell übertragen wird, bedeutet das aber, dass die Vorhersagen des Modells bei geringen Fehlern im Algorithmus schlicht falsch werden. Für solche Systeme lohnt es sich, nach genaueren Algorithmen als dem Euler-Algorithmus zu suchen.

3.1.3.3 Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung

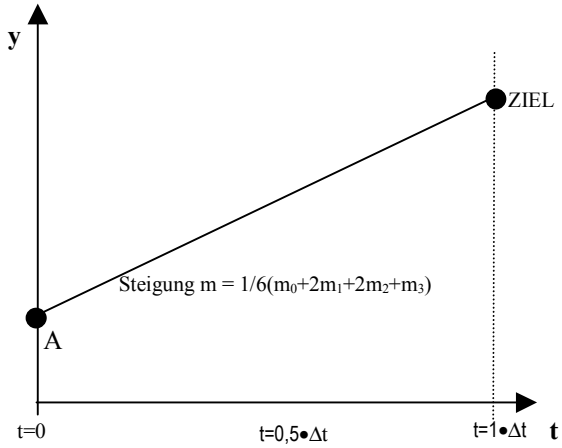
Für die Betrachtung nichtlinearer Systeme werden häufig Runge-Kutta Verfahren höherer Ordnung gewählt.

Das Halbschritt-Verbesserung des Euler-Verfahrens lässt sich auch als die Anwendung einer Taylor-Reihenentwicklung verstehen, die nach dem zweiten Glied abgebrochen wird. Das Runge-Kutta Verfahren betrachtet nun auch die Reihenglieder höherer Ordnung.

Ähnlich wie beim einfachsten Euler-Verfahren ergibt sich

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + m \cdot \Delta t\,,$$

wobei die zum Punkt Y(t+Δt) führende Gerade nun aber nicht einfach die Steigung $\dot{Y}(t)$ hat, sondern eine komplexe Steigung m, die das gewichtete Mittel von 4 (!) Hilfssteigungen darstellt:

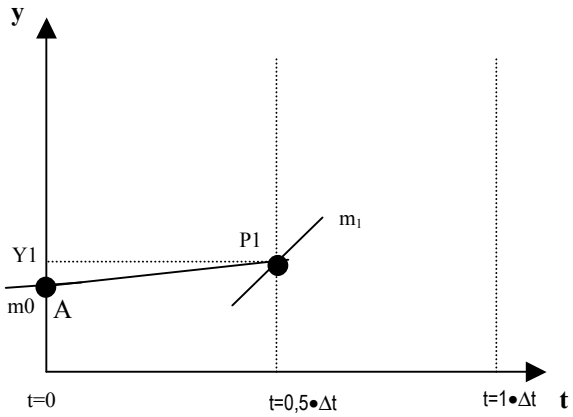


Dabei werden zwei der Hilfssteigungen (hier m_1 und m_2 genannt) doppelt stark gewichtet. Im folgenden wird dargestellt, wie für das Runge-Kutta Verfahren diese 4 Hilfssteigungen ermittelt werden.

Ausgangspunkt bildet der Punkt A. Für diesen Punkt wird durch Einsetzen des Wertes in die bekannte Differentialgleichung die Steigung m_0 im Punkt A an der Stelle t = 0 ermittelt:

$$m_0 = \dot{Y}(t=0; Y_0)$$

Dies ist gleichzeitig schon die erste der 4 Hilfssteigungen; m_0 wird im endgültigen Ausdruck einfach gewichtet.



Mit der Steigung m_0 wird, ausgehend von A, der Ort eines ersten Hilfspunktes P1 festgelegt. P1 soll sich auf der Hälfte der Strecke zum Ziel, also an der Stelle (t+0,5•Δt), befinden.

Die Steigung der Funktion mit den Werten an dieser Stelle P1 ergibt die zweite Hilfssteigung m_2:

$$m_1 = \dot{Y}(t = t + 0{,}5 \cdot \Delta t; Y_1)$$

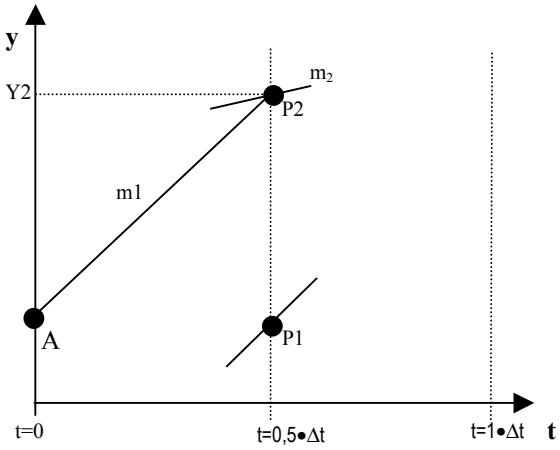
m_1 wird doppelt gewichtet.

Mit der Hilfssteigung m_2 wird nun ein zweites Mal, von Punkt A ausgehend, ein Punkt auf der halben Strecke zum Ziel (t+0,5•Δt) errechnet. Dieser Punkt wird mit P2 bezeichnet und liegt natürlich genau oberhalb von P1.

Die Steigung m_2 im Punkt P2 wird analog

$$m_2 = \dot{Y}(t = t + 0{,}5 \cdot \Delta t; Y_2),$$

berechnet und geht ebenfalls mit doppelter Wichtung ein. Das arithmetische Mittel dieser beiden an der Stelle (t=0,5•Δt) errechneten Steigungen bestimmt also im Runge-Kutta-Verfahren 4/6 der komplexen Steigung m.

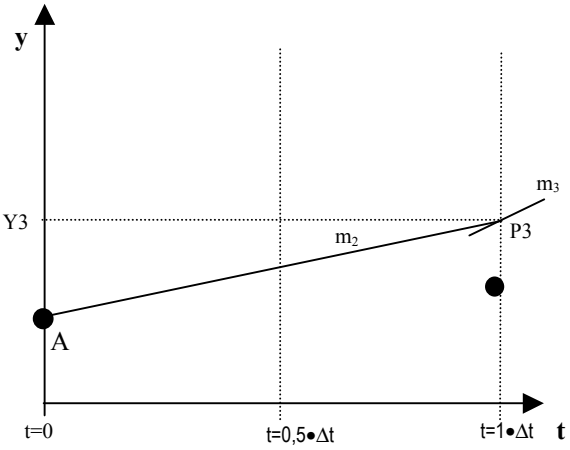


Die letzte Hilfssteigung m_3 wird einfach gewichtet und an der Stelle (t=1•Δt) bestimmt. Der dazu gehörige Punkt P3 wird ermittelt, indem – wiederum vom Punkt A – die Gerade mit der Hilfssteigung m_2 bis zur Stelle (t=1•Δt) verfolgt wird.

Nun sind die vier Hilfssteigungen m_0 ... m_3 bekannt, die zusammen die komplexe Steigung

$$m = \frac{m_0 + 2m_1 + 2m_2 + m_3}{6}$$

bilden. Das Verfahren ist mit allen etablierten Programmiersprachen einfach zu realisieren. Der Verfahrensfehler beim Runge-Kutta-Verfahren liegt in der Größenordnung $(dt)^5 \; \forall \; dt < 1$.



3.1.3.4 Symplektische Algorithmen: das Leapfrog-Verfahren

Zentrales Problem bei den oben dargestellten Verbesserungen des Euler-Verfahrens ist die Ermittlung einer geeigneten Tangentensteigung $\dot{Y}'$, die für den jeweils nächsten Euler-Schritt genutzt werden sollte:

$$Y(t + \Delta t) = Y(t) + \dot{Y}'(t') \cdot \Delta t$$

Wobei sich die Funktion $\dot{Y}'$ aus einer Reihe von Abschätzungen über die Vorgänge zwischen t und (t+Δt) entwickelt wird. Diese Abschätzungen werden als *Vorwärtsgerichtete Abschätzungen* bezeichnet.

Viele physikalische Effekte sind jedoch ihrem Wesen nach zeitumkehrinvariant. Wenn ich aus dem Systemzustand zum Zeitpunkt t den Systemzustand zum Zeitpunkt (t+Δt) ermitteln kann, muss sich bei der Umkehrrechnung aus dem Zustand zum Zeitpunkt (t+Δt) auch fehler-

frei wieder der Zustand zum Zeitpunkt t ergeben. Dies können die vorwärtsgerichteten Algorithmen jedoch nicht gewährleisten, so dass sich z.B. bei periodischen Vorgängen auf Dauer Fehler aufsummieren.

Symplektische Algorithmen werden in der computational physics entwickelt und eingesetzt, um Probleme zu bewältigen, bei denen Erhaltungsgrößen betrachtet werden. Die Berechnung der Drehung von Planeten um die Sonne ist in der Physik als das „Kepler-Problem“ bekannt; zu seiner Modellierung wird davon ausgegangen, das sowohl die Bewegungsenergie des Planeten als auch sein Drehimpuls unter allen Umständen konstant bleibt. Geht dem Modell durch die Asymmetrie eines Berechnungsalgorithmus z.B. auf Dauer ständig Energie verloren, so kann das Modell keine korrekten Langzeitvorhersagen liefern. Dies soll durch den Einsatz symplektischer Algorithmen verhindert werden.

Das Leapfrog-Verfahren ist ein Beispiel für einen symplektischen Algorithmus. Für die Steigung zum Zeitpunkt(t+Δt) wird Mittelwert gebildet, indem im gleichmäßigen Abstand erst **vor** dem Zeitpunkt (t+Δt) und dann **nach** dem Zeitpunkt (t+Δt) ein Systemzustand geschätzt wird. Eine Schätzung der Steigung **genau** zum Zeitpunkt (t+Δt) erfolgt niemals; dieser Zeitpunkt wird einfach übersprungen – daher der Name „Leapfrog“ (=Laubfrosch, sinngemäß hier: Bockspringen).

Der Algorithmus läuft wie folgt ab:

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + \dot{Y}(t+0.5\Delta t)\cdot\Delta t$$
$$\dot{Y}(t+1.5\Delta t) = \dot{Y}(t+0.5\Delta t) + \dot{Y}(t+\Delta t)\cdot\Delta t$$
$$Y(t+2\Delta t) = Y(t+\Delta t) + \dot{Y}(t+1.5\Delta t)\cdot\Delta t$$

usw.

Man sieht, das die Steigungswerte zu den eigentlichen Stützpunkten Y(n· Δt) durch Schätzungen des Systemzustandes zu den Zeitpunkten t = (2n+1)/2 erfolgt; diese liegen also symmetrisch im Abstand eines halben Zeitschrittes um den Stützpunkt. Der Leapfrog-Algorithmus hat einen ähnlichen Fehler wie das verbesserte Euler-Verfahren; dieser kann aber durch das symmetrische Verfahren nicht systematisch in eine Richtung abdriften.

3.1.3.5 Zur Optimierung der Schrittweite bei numerischen Verfahren

Eine weitaus einfachere Lösung zur Erhöhung der Rechengenauigkeit ist auf den ersten Blick dadurch gegeben, dass man einfach die Schrittweite zwischen zwei Stützpunkten so weit verringert, dass die Änderung der Tangentensteigung zwischen den Stützpunkten nur noch verschwindend gering sein kann. Zunächst scheint als einziger Nachteil der erhöhte Rechenaufwand durch die Zunahme der Iterationen zu entstehen, die notwendig sind, um eine Rechnung über einen gegebenen Zeitraum von $t=t_0$ bis T durchzuführen.

Auf der anderen Seite tritt bei jeder einzelnen Iteration ein sogenannter numerischer Fehler auf. Dieser entsteht schon allein durch die Tatsache, dass Computer nicht analog rechnen, sondern Zahlen in Wörtern mit einer Länge von typischerweise 32bit abbilden. Damit existiert kein Kontinuum von Zahlen mehr, sondern es muss zwischen den vom Computer

dargestellten Zahlen gerundet werden. Dieser Rundungsfehler tritt bei jeder einzelnen Iteration auf; der Gesamtfehler ergibt sich aus der Summe der Einzelfehler; die Gesamtsumme steigt mit der Anzahl der notwendigen Iterationen.

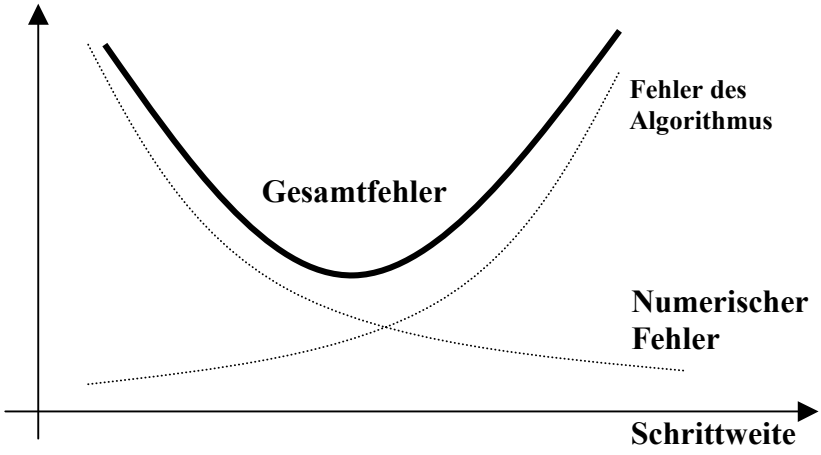


Abbildung 12: Summe aus systematischem und numerischem Fehler

Wie die Abbildung zeigt, ergibt sich für eine gegebene Kombination aus Genauigkeit des Algorithmus und Genauigkeit des ausführenden Rechenwerks ein Optimum der Gesamtgenauigkeit bei einer bestimmten Schrittweite. Dies setzt voraus, dass die beiden Fehler sich linear addieren – eine Annahme, die nicht allgemein gültig ist.

Die Abschätzung dieses Optimums ist eine schwierige Aufgabe. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze:

1. Man verwendet ein Eichsystem, dessen reales Verhalten aus einem anderen Zusammenhang (z.B. einer realen physikalischen Messung) genau bekannt ist, und ändert an dessen Simulationsmodell die Schrittweite bis zu einer zufriedenstellenden Genauigkeit ab.

2. Man überwacht die Erhaltungsgrößen des Systems. Beispielsweise muss beim Kepler-Problem die Gesamtenergie und der Gesamtimpuls erhalten bleiben. Dennoch auftretende Veränderungen können auf Ungenauigkeiten des Modells, des Algorithmus oder des Rechenwerks zurückgeführt und minimiert werden.

3. Man ermittelt den minimalen Fehler durch Variation der Schrittweite. Dabei geht man, ähnlich wie in der Analysis bei der Ermittlung von Extremwerten, davon aus, dass in der Umgebung des minimalen Fehlers

    a. die Fehlersumme bei geringen Variationen der Schrittweite sich nur noch wenig ändert (1. Ableitung der Fehlersumme $\rightarrow 0$),

    b. der Fehler bei einer weiteren Variation eher wieder zunimmt.

Ein wichtiges Maß zur Bestimmung des besten Algorithmus ist die Größenordnung des sogenannten Verfahrensfehlers. Dieser wird durch Tests mit zahlreichen verschiedenen Anordnung bestimmt.

Das Euler-Cauchy-Verfahren produziert bei typischen Aufgabenstellungen einen Fehler der Größenordnung $(dt)^2 \; \forall \; dt < 1$. Beim aufwendigeren Runge-Kutta-Verfahren ist der typische Verfahrensfehler dagegen lediglich $(dt)^5 \; \forall \; dt < 1$.

3.2 Vorgehensweisen zur Modellbildung und Modellerstellung in der Technologie

3.2.1 Definition des Begriffes „Technik“

Technik wird in der vorliegenden Arbeit unter Bezug auf die Arbeiten von Bader, Sanfleber und Schulze-Fröhlich[39] definiert als die „zielorientierte Veränderung der Umwelt des Menschen - und damit seiner individuellen und gesellschaftlichen Lebensbedingungen - durch den Menschen“, die „unter Nutzung natürlicher Ressourcen und unter Einbeziehung konkreter wirtschaftlicher und technischer Rahmenbedingungen“ vonstatten geht.

Realisiert wird Technik in Form technischer Gegenstände und Verfahren. Dabei kann Technik gegliedert werden in:

- Die gegenständliche Technik (= technische Gegenstände, wie Werkzeuge, Maschinen, Geräte, Fahrzeuge, ...)
- Die prozessurale Technik (technische Verfahren, wie Gießen, Pressen, Sägen, Schweißen, Klassieren, Destillieren, ...).

Hierbei sind technische Gegenstände jeweils das Ergebnis technischer Verfahren, zu deren Durchführung wiederum technische Gegenstände erforderlich sind.

Technisches Denken und Handeln lässt sich nicht gegen die Gesetze der Natur entwickeln, es versucht vielmehr, die Natur in den Dienst des Menschen zu stellen. Dabei bilden Stoffe (Steine, Erze, Wasser), Energie (Wasserenergie, Windenergie, chemisch gebundene Energie, Kernenergie) und Informationen (vor allem auch in der Form erkennbarer Naturgesetze) die Grundlage für das Technikschaffen des Menschen.

3.2.2 Die „Allgemeine Technologie“

Die Bezeichnung „allgemeine Technologie“ wird in der technikdidaktischen Diskussion in der Regel auf einen Vorschlag von Johann Beckmann zurückgeführt, der in seinem 1806 veröffentlichten Werk die Arbeitsabläufe bei Künstlern und Handwerkern nach Einzelfunktionen klassierte[40]. Beckmann versprach sich dadurch vor allem Synergieeffekte, da ihm bewusst war, dass Künstler und Handwerker über eine Vielzahl vergleichbarer Methoden verfügen, jedoch kaum ein Austausch zwischen den Zünften untereinander und dem Handwerk und den Künstlern erfolgte. 1978 veröffentlichte Horst Wolffgramm ein aus der allgemeinen Systemtheorie abgeleitetes Konzept zur Beschreibung technischer Systeme; 1979 veröffentlichte Günther Ropohl in seiner Habilitationsschrift einen vergleichbaren Entwurf, der sich sehr gut mit dem Entwurf Wolffgramms ergänzt und zusammen mit diesem

---

[39] Bader, R.; Sanfleber, H.; Schulze-Fröhlich, D.: Einführung in die allgemeine Technologie. Bochum: Kamp-Verlag, 1981.

[40] Beckmann, J.: Entwurf der allgemeinen Technologie (Nachdruck). Erstveröffentlichung: Göttingen, 1806

den Allgemeintechnologischen Ansatz (AtA)der Technikdidaktik begründet. Parallel wurde 1977 die VDI-Richtlinie 2222 zur systematischen Konzeption technischer Produkte veröffentlicht, die eine vereinheitlichte Darstellung von Funktionsstrukturen technischer Systeme enthält. In der Modifikation nach Arp[41] von 1991 ergibt sich damit insbesondere ein Satz von Symbolen zur verdeutlichenden Beschreibung von Stoff-, Energie-, und Informationsflüssen durch technische Systeme. Diese Darstellungsform hat sich seitdem zur Analyse technischer Systeme

- bei der Ausbildung von Techniklehrern,
- bei der Vorbereitung von Unterrichtsreihen und
- im Technikunterricht der gymnasialen Oberstufe

vielfach bewährt.

Die Richtlinien der gymnasialen Oberstufe in der Fassung[42] von 1981 waren stark am Konzept der allgemeinen Technologie orientiert. Daraus resultiert insbesondere die Aufteilung der Inhalte der verschiedenen Jahrgangsstufen:

11.1 Einführung in die allgemeine Technologie

11.2 Stoffumsatz in technischen Systemen

12.1 Energieumsatz in technischen Systemen

12.2 Informationsumsatz in technischen Systemen

13.1 Verbund technischer Systeme

13.2 Wechselwirkung technischer Systeme mit ihrem Umfeld

Die Studienordnungen für das Lehramt Technik der Universitäten Duisburg und Essen orientieren sich ebenfalls am gleichen Konzept. Die neuen Richtlinien für das Fach Technik in der gymnasialen Oberstufe orientieren sich jedoch stärker am sog. „mehrperspektivischen Ansatz“. Technische Systeme werden hier bestimmten „Inhaltsfeldern“ zugeordnet: Versorgung und Entsorgung, Transport und Verkehr, Information und Kommunikation[43]; bei Sachs zusätzlich[44]: Arbeit und Produktion, Bauen und Wohnen.

Auch die neuen Richtlinien stellen klar, dass die allgemeine Technologie die Bezugswissenschaft des Unterrichtsfaches Technik ist, da sie „im Vergleich zu den Ingenieurwissenschaften über die Gegenstände technischer Entwicklung hinausgeht, und sowohl die

---

[41] Arp, H.: Grundkategorien technologischer Beschreibungen. In: tu - Technik im Unterricht 15. Jg., Heft 59, 1991.

[42] Kultusministerium Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen: Technik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1981.

[43] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Technik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

[44] Schmayl, W.; Wilkening, F.: Technikunterricht. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhard, 2. überarbeitete und aktualisierte Auflage 1995. Seite 70.

Arbeitshandlungen als auch die soziokulturellen Prozesse der der Entstehung, Verwendung und Entsorgung technischer Systeme mit einbezieht. Sie trägt damit dem Umstand Rechnung, dass Technik nicht nur als Mittel, sondern auch als Ergebnis menschlicher Arbeit zu verstehen ist.“[45]

3.2.3 Das Konzept der „vollständigen Handlung“

Das Konzept der „vollständigen Handlung“, oder in anderem Zusammenhang der „vollständigen Lernhandlung“ findet sich parallel in der handlungstheoretischen Didaktik (Aebli[46], John Dewey[47]), in der Lernpsychologie und in den Fachdidaktiken allgemeiner und berufsbildender Fächer. Der Modellbildungsbegriff der Physikdidaktik verwendet eine andere Begrifflichkeit; die beiden Konzepte lassen sich aber aufeinander abbilden, wobei physikalische Modellvorstellungen im Gegensatz zu den Produkten einer vollständigen Handlung nicht im Gegenstandsraum existieren.

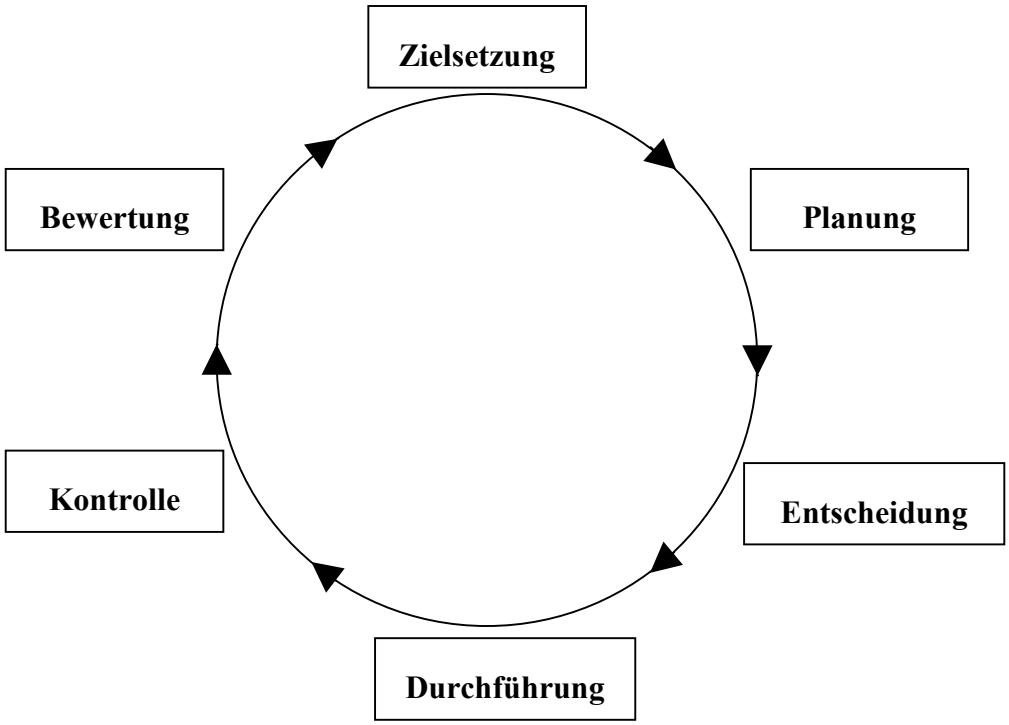


Abbildung 13: Die vollständige Handlung

[45] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Technik. Frechen: Ritterbach Verlag GmbH, 1999. Seite 39.

[46] Aebli, H.: Zwölf Grundformen des Lernens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Stuttgart: Klett-Cotta, 10. Auflage 1998. Seite 195ff.

[47] Dewey, J.: The Analysis of a complete Act of Thought. In: How we think. New York: Heath, 1910.

Die vollständige Handlung besteht aus folgenden Schritten:

1. **Zielsetzung**: Bei allen an der Handlung Beteiligten soll eine klare Vorstellung (engl. besser: „Vision“) existieren, welches Ziel erreicht werden soll. Kriterien für ein erfolgreiches Erreichen des Zieles sollen hier formuliert werden, um zur Klärung der Zielvorstellung beizutragen.

2. In der **Planungsphase** werden alle Informationen zusammengetragen, die zur Erreichung des Zieles hilfreich sein können; dies schließt auch die Suche nach bereits existierenden Problemlösungen ein. In der Auseinandersetzung mit den Informationen sollen Ideen für verschiedene Lösungswege gesammelt werden.

3. Nun muss im Konsens mit allen Beteiligten die **Entscheidung** gefällt werden, welcher Lösungsweg konkret beschritten werden soll. (Die alternativen Lösungswege können als Ausweichmöglichkeit zurück gehalten werden, falls eine erneute Entscheidung stattfinden muss.) Wichtig: spätestens an dieser Stelle sollen quantitative Kriterien festgelegt sein, an denen sich die Güte, der Erfolg oder ggf. der Misserfolg der Handlung bemessen lässt.

4. Die eigentlich **Durchführung** gemäß der getroffenen Entscheidung.

5. Die **Kontrolle** gemäß der in 1-3 festgelegten Kriterien.

6. Die **Bewertung** stellt fest, wie erfolgreich die Handlung gewesen ist, und ggf. wie man sämtliche Schritte der nachfolgenden Handlungen - also des folgenden Durchlaufs des Handlungskreises - verbessern kann. Hier findet ein Lernprozess seinen Höhepunkt und seinen Abschluss. Der Kreis wird an dieser Stelle geschlossen, da schon die folgende Zielsetzung mit den Ergebnissen des letzten Durchganges wesentlich besser formuliert oder revidiert werden kann.

Das folgende Diagramm zeigt die Anwendung der vollständigen Handlung im Lebenslauf eines technischen Systems[48].

Wie zu erkennen ist, bietet jede einzelne Phase des Lebenslaufes die Gelegenheit für eine vollständige Lernhandlung:

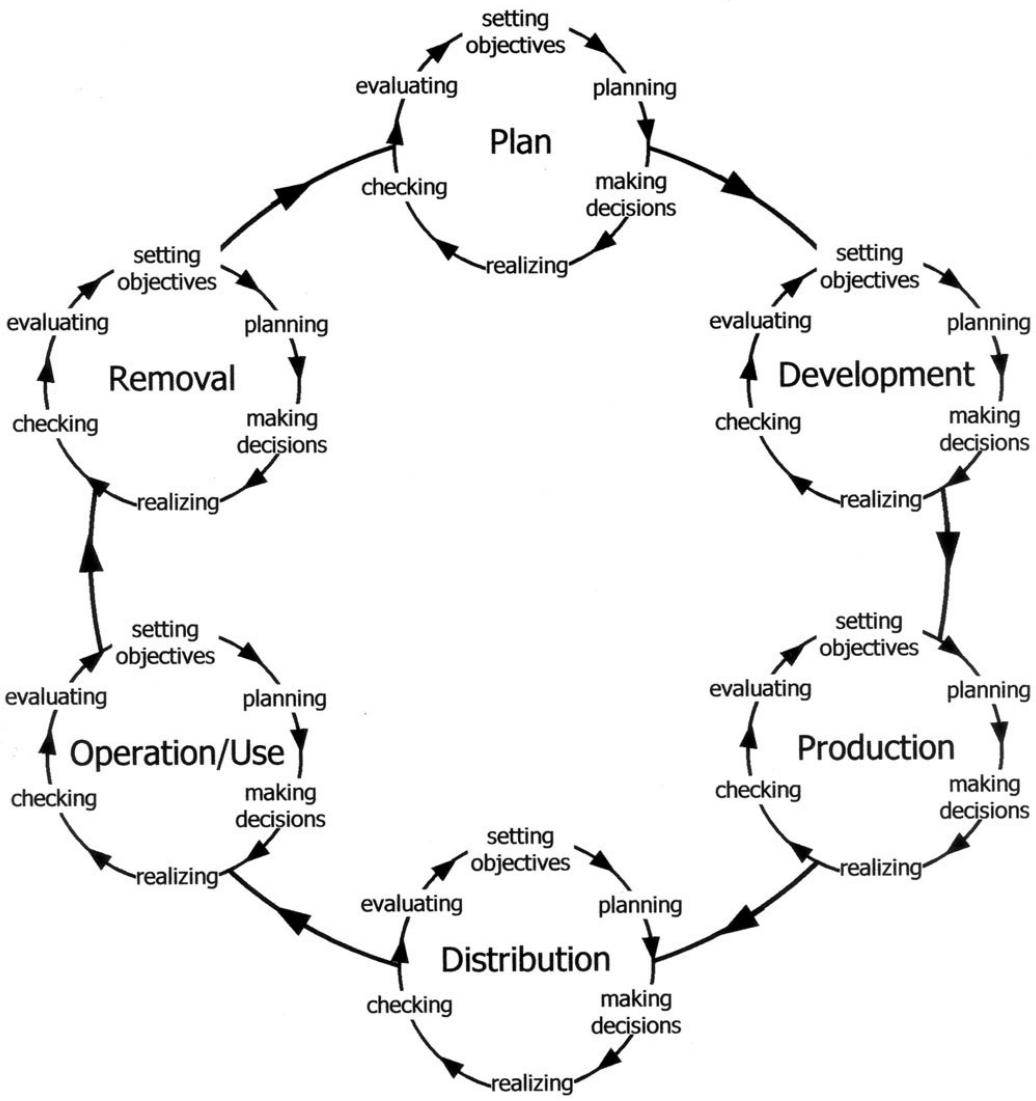


Abbildung 14: Der Lebenslauf eines technischen Systems

[48] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Technik. Frechen: Ritterbach Verlag GmbH, 1999.

Als ein Beispiel für viele sei im folgenden eine typische Unterrichtsreihe dargestellt, die dem Konzept der vollständigen Lernhandlung folgt. Sie wurde in dieser Form im Jahre 2001 am Friedrich-Albert-Lange Berufskolleg in Duisburg zur Ausbildung von Metallhandwerkern durchgeführt und genauer beschrieben von Egbert Kluitmann und Jürgen Nolting[49]. Ein besonderes Merkmal dieser Unterrichtsreihe ist die Ausrichtung an einem arbeitsprozess- und lernfeldorientiertem Unterricht, wie es die Rahmenlehrpläne für handwerkliche Metallberufe[50] in Nordrhein-Westfalen seit 1997 verlangen. Hierbei sollen „Lernfelder als didaktisch erschlossene, für den Unterricht aufbereitete thematische Einheiten ausbildungsrelevante Zusammenhänge unter dem Aspekt der Entwicklung von Handlungskompetenz verbinden“[51].

Ausgangspunkt zur Entwicklung der **Zielsetzung** war ein typischer Auftrag im Metallhandwerk, der Auftrag zur Montage eines Schutzgitters. Diese Gitter sollen exakt waagerecht an der Brüstung von Fenstern montiert werden.

Für die **Planung** steht der Lerngruppe die Designskizze eines Designbüros zur Verfügung. Leider ist diese Skizze nicht normgerecht, und für den praktischen Einsatz müssen eine Reihe von Detaillösungen von der Lerngruppe entwickelt werden.

Abbildung 15: Montage eines Schutzgitters als typischer Lernauftrag

[49] Kluitmann, E.; Nolting, J.: Der Weg zu einem arbeitsprozess- und lernfeldorientiertem Unterricht. In: lernen & lehren, 16. Jg., Heft 64, 2001. Seite 162ff.

[50] Kultusministerium Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne handwerkliche Metallberufe. Metallbauer/Metallbauerin Fachrichtung Konstruktionstechnik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1991.

[51] Kluitmann, E.: Lernsituation „Konstruktion und Fertigung eines Türbeschlages“ – Ein Beispiel für die Umsetzung des Lernfeldkonzeptes. In: lernen & lehren, 15. Jg., Heft 58, 2000. Seite 28.

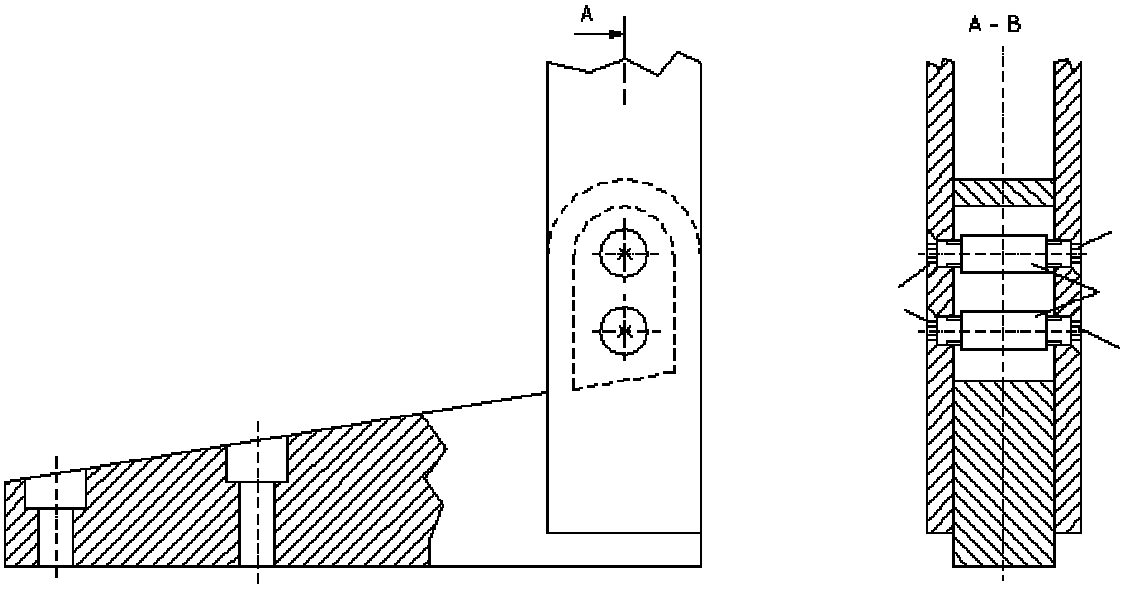


Abbildung 16: Zusammenbauzeichnung des Geländerfußes

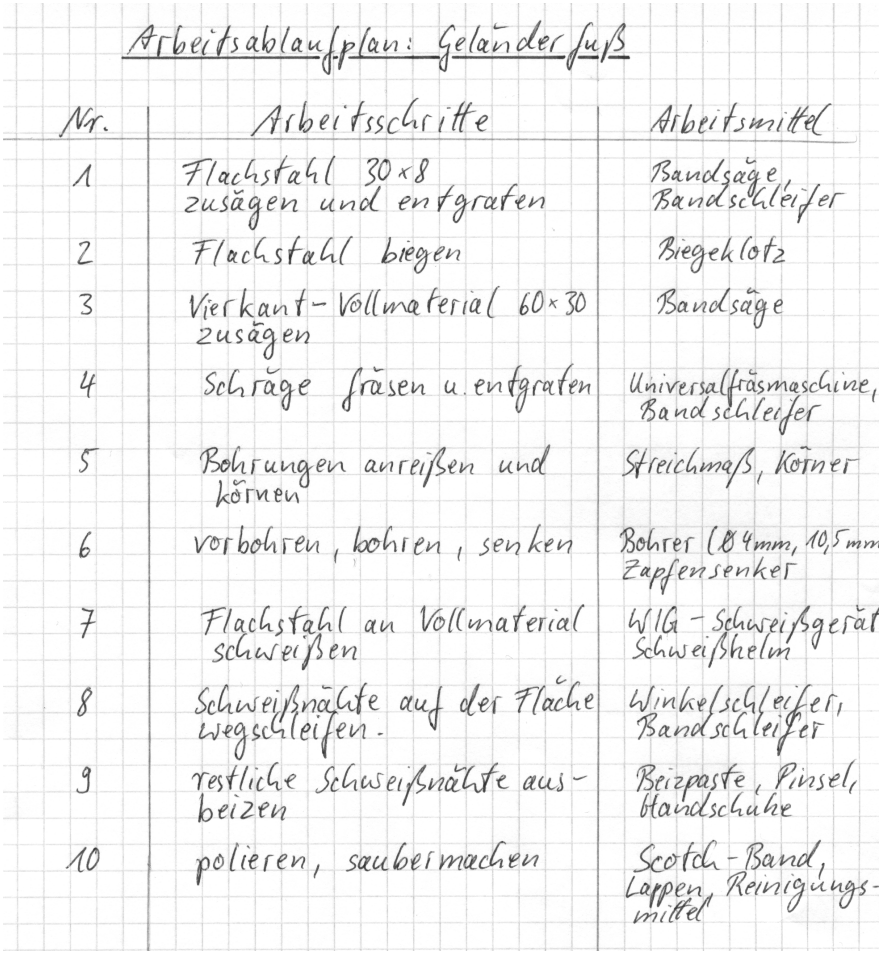
Unter anderem wird problematisiert, dass der Geländerfuß nicht höhenverstellbar ist. Damit ist eine exakt waagerechte Montage auf der Brüstung nicht zu gewährleisten. Aus der Arbeit an dem Problem heraus – und nicht durch die Maßgabe des Lehrers – erwächst für die Schüler in dieser Phase die Notwendigkeit zur umfassenden Beschäftigung mit Fachliteratur, um nach bestehenden Lösungen zu suchen, etablierte Konzepte zu erfassen und genaue Angaben über Normen und Bestimmungen, z.B. für das technische Zeichnen, zu erhalten.

Die Gruppe fällt die **Entscheidung** zur eigenständigen Entwicklung eines angepassten höhenverstellbaren Geländerfußes mit 10 mm Verstellweg. Die Schüler bestimmen die Maße, legen den Werkstoff fest und legen eine technische Zeichnung des Geländerfußes an. Für die Realisierung des technischen Gegenstandes, also dem Transfer des Modells vom Abbildungsraum in den Gegenstandsraum, wird von den Schülern ein Arbeitsablaufplan formuliert, der die einzelnen Arbeitsschritte und die für jeden Schritt notwendigen Arbeitsmittel beschreibt.

Üblicherweise schließt nun die Realisierungsphase der vollständigen Handlung an. Die für diese Phase zur Verfügung stehenden Arbeitsmittel setzen dem Anspruch der gesamten Unterrichtsreihe enge Grenzen. Wenn die Realisierung mit den Arbeitsmitteln der Berufsschule nicht vollzogen werden kann, können Teilleistungen von den Schülern in den Betrieben vollzogen werden, denen sie zugeordnet sind. Weiterhin haben die Kreishandwerkerschaften der Regionen sogenannte „überbetriebliche Lehrwerkstätten“ (ÜBL) eingerichtet, in denen die Schüler Werkstücke wie den beschriebenen Geländerfuß fertigen können.

Aufgrund der zahlreichen in der Zielsetzungs-, Planungs-, und vor allem der Entscheidungsphase fixierten Qualitätskriterien kann der Erfolg der Realisierungsphase eindeutig und präzise **bewertet** werden. Wichtig ist hier auch, dass die Bewertung gemäß der von der gesamten Lerngruppe im Vorfeld fixierten Gütemaßstäben erfolgen kann. Dies ist ein

Gegensatz zu der häufig in Unterricht allgemeinbildender Fächer vorgefundenen Situation, in der die Bewertung nur durch den Lehrer (Beispiel Hausarbeit, Klassenarbeit) erfolgt.



Arbeitsablaufplan: Geländerfuß

Nr.	Arbeitsschritte	Arbeitsmittel
1	Flachstahl 30×8 zusägen und entgraten	Bandsäge, Bandschleifer
2	Flachstahl biegen	Biegeklotz
3	Vierkant-Vollmaterial 60×30 zusägen	Bandsäge
4	Schräge fräsen u. entgraten	Universalfräsmaschine, Bandschleifer
5	Bohrungen anreißen und körnen	Streichmaß, Körner
6	vorbohren, bohren, senken	Bohrer Ø 4mm, 10,5mm Zapfensenker
7	Flachstahl an Vollmaterial schweißen	WIG-Schweißgerät Schweißhelm
8	Schweißnähte auf der Fläche wegschleifen.	Winkelschleifer, Bandschleifer
9	restliche Schweißnähte ausbeizen	Beizpaste, Pinsel, Handschuhe
10	polieren, saubermachen	Scotch-Band, Lappen, Reinigungsmittel

Abbildung 17: Die Arbeitsablaufplanung der Schüler

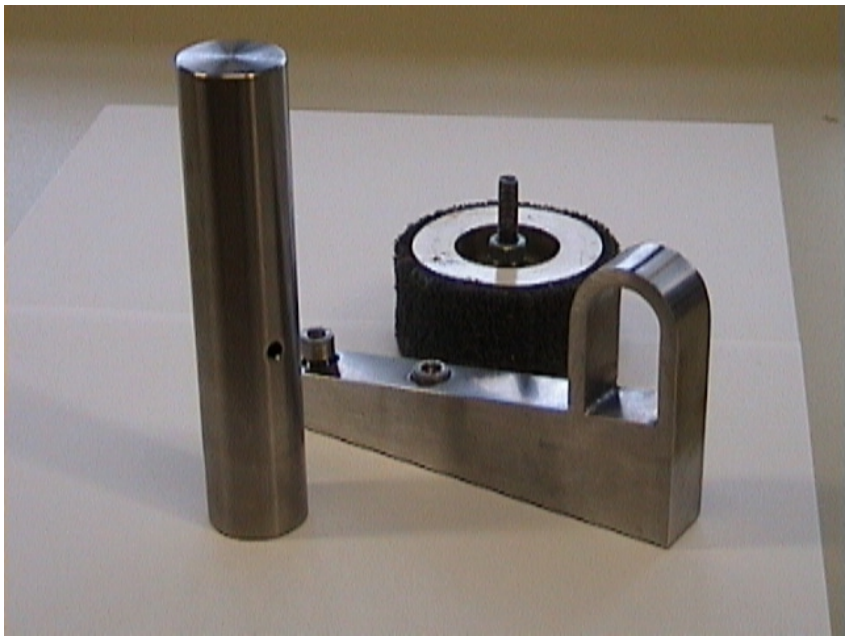


Abbildung 18: Das fertige Produkt nach dem letzten Arbeitsschritt, im Bild hinten das Arbeitsmittel zum Polieren.

Da die einzelnen Arbeitsschritte, angefangen von der Zielsetzungs-, Planungs-, und Entscheidungsphase bis zu den einzelnen Arbeitsschritten in den schriftlich fixierten Arbeitsablaufsplänen der Schüler dokumentiert sind, kann eine entsprechend genaue Evaluation der Handlung erfolgen. Qualitätsprobleme im Ergebnis können genau bestimmten Arbeitsschritten oder Arbeitsmitteln zugeordnet und alternative Lösungen und Vorgehensweisen diskutiert werden. Auch die Effizienz des gesamten Vorgehens, von der Zielsetzungsphase angefangen, kann somit geprüft werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vollständige Handlung zu recht ein erfolgreiches Konzept innerhalb der technischen Bildung darstellt. Vorteilhaft ist insbesondere die gute Vorbereitung der Reflektionsphase, in der das eigene Planen und die eigene Handlung nach von den Schülern selbst gewählten Maßstäben überprüft und bewertet werden kann.

Es gilt im Rahmen dieser Arbeit zu überprüfen, inwiefern sich dieses Konzept auch auf die für die naturwissenschaftliche Bildung typischen Modellbildungsvorgänge übertragen lässt. Dabei stellen sich zunächst eine Reihe von Fragen:

- Wie können objektive Prüfkriterien für die Qualität des Ergebnisses der Lernhandlung durch die Gruppe formuliert werden?
- Welches „Produkt“ kann am Ende einer Lernhandlung stehen?
- Wie kann eine Lernhandlung im naturwissenschaftlichen Unterricht ähnlich stringent geplant werden?
- Mit welcher Symbolsprache und mit welchen Werkzeug kann in der Planungs-, Entwicklungs- und Bewertungsphase innerhalb der Gruppe kommuniziert werden?

- Wie kann die Realisierung eines Modells ähnlich greifbar und sichtbar gemacht werden wie die Realisierung eines technischen Gegenstandes?

Wir werden zu einem späteren Zeitpunkt in dieser Arbeit auf diese Fragen zurück kommen, wenn das Konzept der **Objektorientierten Modellbildung** entwickelt und besprochen werden soll.

3.2.4 Systematische Strukturierung von Wissen: Mind-mapping, Petri-Netze, System der Allgemeinen Technologie

Petri-Netze wurden wahrscheinlich zuerst in den 40 Jahren entworfen, um die günstigste Sitzordnung für Management- und Vorstandssitzungen in großen Firmen zu ermitteln. Bei diesen Sitzung tauschen Manager, die in einer Beziehung zueinander stehen, in der Regel größere Dokumentenmengen oder Informationen miteinander aus. Stellt man die Beziehung zwischen den Managern mit Pfeilen dar, so erhält man schnell eine grafische Darstellung des Beziehungsnetzes zwischen ihnen.

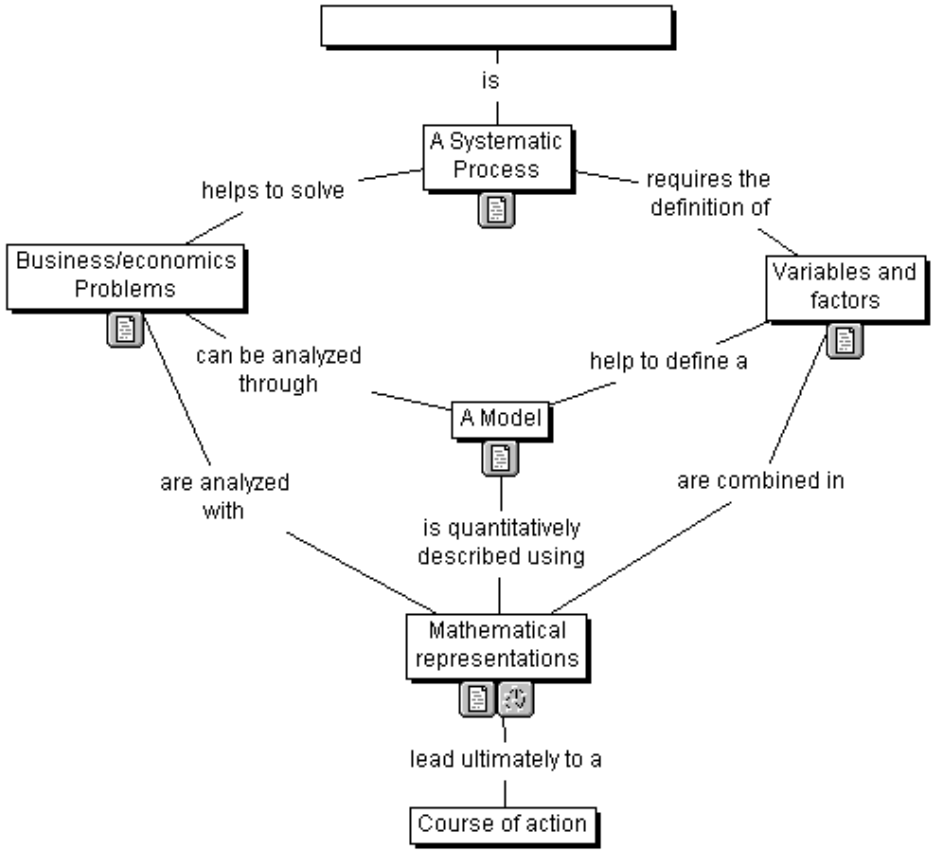


Abbildung 19: Ein Petri-Netz zur Darstellung des Zusammenhangs verschiedener Begriffe

Das Petri-Netz wurde schnell zum Allroundtalent und ist zum sogenannten „Entity-Relationship“ Modell verallgemeinert worden. Im Deutschen bezeichnet man die Entitäten als

„Knoten“; die Beziehungen (Relationships) zwischen den Entitäten werden als „Kanten“ bezeichnet. Die Abbildung 19 zeigt ein Entity-Relationship-Modell oder eine „Mind-Map“ zum Thema „Management-Entscheidungen“

Man sieht die als Kästen ausgeführten Knoten mit den dazwischen liegenden Kanten, die die Beziehungen zwischen den Knoten darstellen.

Für den technischen Gebrauch wird diese Form der Darstellung allerdings schnell unübersichtlich. Darüber hinaus finden wir in technischen Systemen häufig Beziehungen zwischen den Systemelementen, die sich ein wenige generelle Typklassen einordnen lassen:

Satz:

1. Wenn technische Systeme in Beziehung zueinander stehen, so sind für das Verständnis des technischen Systems in erster Linie die **Austauschbeziehungen** von Interesse.

2. Austausch in technischen Systemen lässt sich ständig verallgemeinern auf:

- Austausch von Stoff (S)
- Austausch von Energie (E)
- Austausch von Information (I)

Man betrachte hierzu das Systemdiagramm im Verständnis von Ropohl[52]:

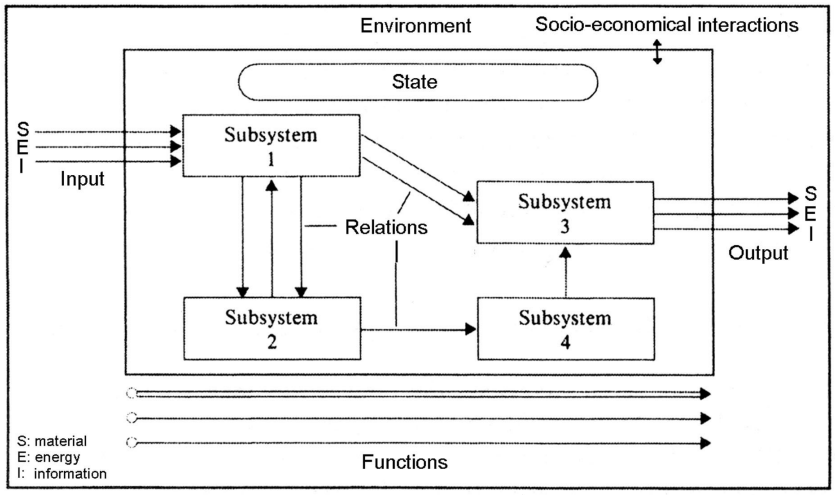


Abbildung 20: Systemdiagramm nach Ropohl

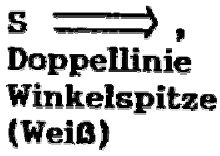
Horst Arp[53] hat 1991 ein Symbolsystem speziell für die allgemeine Technologie entwickelt. Es erweitert die in der VDI 2222 definierte Symbolsprache, die bereits eine optische

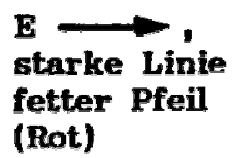
---

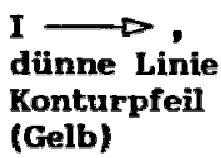
[52] Ropohl, G.: Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik. München, Wien: Hanser, 2. überarbeitete Auflage 1999.

[53] Arp 1991.

Trennung von Stoff-, Energie-, und Informationsflüssen durch entsprechend gestaltete Pfeile vorsieht:



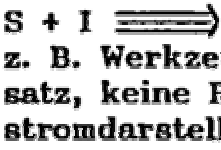




Neu bei Arp ist insbesondere das Konzept der „Verbundenden Ströme“. Bei der Zufuhr von Brennstoff bzw. eines zündfähigen Kraftstoff-Luft-Gemisches zu einem Triebwerk handelt es sich um einen solchen Verbundstrom: das technische Ziel, die Zuführung von Energie zum Zwecke ihrer Wandlung, geschieht hier in Verbund mit einem chemischen Energieträger.

Während man sich bei der VDI 2222 nun dafür entscheiden müsste, je nach dem Primärzweck entweder die Darstellung als Stoff- oder Energiepfeil zu wählen, bietet die Symbolsprache der allgemeinen Technologie nach Arp einen entsprechenden Verbundpfeil:

Entsprechende Pfeile existieren in der Notation von Arp auch für andere Verbundströme:



Damit ergeben sich bei der Erstellung von Systemdiagrammen für die allgemeine Technologie mannigfaltige Möglichkeiten. Eine Wärmekraftmaschine kann im Diagramm nun einfach als eine Systemkomponente bezeichnet werden, die die Energie von einem zugeführten chemischen Energieträger abtrennt und in Form mechanischer Energie einem nachgeordneten System, z.B. einem Getriebe, zuführt.

Ein Manko der Symbolsprache der allgemeinen Technologie ist die fehlende Möglichkeit, ein dynamisches Systemverhalten in der Zeit darzustellen. Auch Möglichkeiten, den Übergang des Systems von einem diskreten Zustand in den nächsten darzustellen, fehlen. Beispiele sind alle Systeme, die sich beim Aktivieren zunächst in einem Anfahrzustand befinden. Ein Hochofen beim ersten Anfahren, ein Automotor beim Anlassen oder ein Drehstrom-Elektromotor, der beim Stillstand des Rotors noch niederohmig ist und daher mit Hilfe eines Vorschaltwiderstandes anfahren muss, sind Beispiele für technische Systeme die verschiedene Betriebszustände kennen.

Zur Darstellung solcher Systeme im Rahmen der objektorientierten Modellbildung muss also eine geeignete Erweiterung der bereits diskutierten Symbolsysteme der technischen und naturwissenschaftlichen Bildung gefunden werden. Auf der Suche nach bereits vorhandenen Konzepten wendet man sich nun den Symbolsprachen der Informatik zu.

3.3 Vorgehensweisen zur Modellbildung und Modellerstellung in der Informatik

Modellbildung ist ganz einfach ein zentraler und wesentlicher Bestandteil der Informatik. Klare Hinweise darauf finden sich bei Goorhuis[54], Rechenberg[55], Rechenberg/Pomberger[56] und in den Richtlinien für das Fach Informatik in der gymnasialen Oberstufe in Nordrhein-Westfalen[57]; eine Reihe der namhaftesten Autoren der Informatik wie Grady Booch[58], Ivar Jacobson[59], James Rumbaugh[60], Paul Ward und Stephen Mellor[61] sind durch ihre Veröffentlichungen und Bücher zum Thema Modellbildung in der Informatik bekannt geworden. Eine Suchanfrage im Internet zu dem Suchbegriff „Modellbildung“ in Verbindung mit „Informatik“ am 14.6.2001 ergab 7080 Treffer[62] im deutschsprachigen Raum. International lieferte die Suche nach den analogen Begriffen „computer science“ AND „modeling“ 289.000 gefundene Seiten[63]; das stichprobenhafte Suchen führte in der Regel auf Seiten von Universitäten, die sich im Rahmen ihrer Forschung und der Ausbildung von Informatikern mit diesem Thema beschäftigen.

Im Informatikunterricht soll der Begriff „Modell“ als Abbildung eines Ausschnittes der Wirklichkeit bzw. eines realen Systems in den Raum zugänglicher Lösungen verstanden werden[64]. Modelle dienen auch hier als Idealisierungen, die nur die wesentlichen Eigenschaften eines Originals berücksichtigen sowie als Mittel zum Problemlösen.

---

[54] Goorhuis, H.: Konstruktivistische Modellbildung in der Informatik. (Dissertation). Universität Zürich: 1994

[55] Rechenberg, P: Was ist Informatik? : Eine allgemeinverständliche Einführung. München [u.a.] : Hanser, 2000

[56] Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. 2. erweiterte Auflage. München: Hanser, 1999.

[57] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Informatik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

[58] Booch, G.: Objektorientierte Analyse und Design. Bonn, Paris, Reading: Addison-Wesley, 1994.

[59] Jacobson, I.: Object-Oriented Software Engineering: A Case Driven Approach. Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.

[60] Rumbaugh et. al.: Object-Oriented Modeling and Design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

[61] Ward, P.T.; Mellor, S.J.: Strukturierte Systemanalyse von Echtzeit-Systemen. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

[62] http://www.google.de/search?hl=de&safe=off&q=Informatik+Modellbildung&btnG=Google-Suche&meta=lr%3Dlang_de

[63] http://www.google.de/search?hl=de&safe=off&q=%22computer+science%22+AND+%22Modeling%22&btnG=Google-Suche&meta=

[64] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Informatik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999. Seite 11ff.

Die Richtlinien für das Fach Informatik in der gymnasialen Oberstufe teilen sämtliche fachlichen Inhalte entweder einem der Felder (d.h. generellen fachmethodischen Leitlinien)

- „Modellieren und Konstruieren“ oder
- „Analysieren und Bewerten“

(als generelle fachmethodische Leitlinien) zu[65].

Das Thema „ein Informatikmodell gewinnen“ aus dem Feld „Modellieren und Konstruieren“ gliedert sich in die Themen:

1. Problemstellungen eingrenzen und Probleme strukturieren
2. Anforderungen an ein Modell aufstellen
3. Ein reduziertes Modell für die Problemstellung definieren
4. Eine erste Lösungsstrategie entwerfen.

Die Autoren der Richtlinien heben ausdrücklich den didaktischen Vorteil der Objektorientierung hervor, da hierbei „die relevanten Objekte in vielen Phasen gleich sind und der Entwicklungsprozess spiralförmig verläuft.“[66]

Zentrale und herausragende Gesichtspunkt bei der Modellerstellungen in der Informatik:

1. **Die Beschreibung des Modells geschieht kollaborativ durch eine große Personengruppe.**

Schon die Entwicklung eines Softwaremodells mittlerer Größe ist ein komplexer Prozess und verlangt die Mitarbeit

- von späteren Anwendern,
- von Softwareentwicklern und
- von Geldgebern, die über die Liefertermine und das zur Verfügung stehende Budget entscheiden.

Sowohl das Modellbildungswerkzeug als auch der Prozess der Modellerstellung muss also für Gruppenarbeit geeignet sein. Das heißt z.B. die Modellierungssprache muss aus einfachen Symbolen aufgebaut sein, die sowohl an einer Tafel gezeichnet als auch mit dem Computer gesetzt und elektronisch dokumentiert und verschickt werden können; die Symbole müssen sich schnell erfassen lassen, und man sollte sie einfach re-arrangieren können, um verschiedene Varianten durchzuprobieren.

---

[65] Ebd.

[66] Ebd., Seite 12

2. **An die Eindeutigkeit und die Verständlichkeit des Modells durch Nichtfachleute werden erhöhte Anforderungen gestellt.**

Dieser Gesichtspunkt folgt unmittelbar aus dem vorherigen. Sowohl Anwender als auch Geldgeber spielen Schlüsselrollen bei der Entwicklung von Software. Leider fehlt jeder Gruppe die Erfahrung und der Wissenshintergrund der jeweils anderen Gruppe. Die Softwareentwickler brauchen das Fachwissen der Anwender, um die Probleme des speziellen betrieblichen Bereiches lösen zu können; die Anwender verstehen nicht die Sprache der Softwareentwickler; die Geldgeber kennen beide Bereiche nicht, müssen aber den Umfang der zu leistenden Arbeit abschätzen können[67] [68] [69].

Die Lösung besteht darin, gemeinsam ein Modell des zu erstellenden Systems in einer Modellierungssprache zu erstellen, die für alle Beteiligten unmittelbar verständlich ist. Die eindeutige Verständlichkeit ist dabei eine dringende Forderung, da Missverständnisse an dieser Stelle zu Budgetverschiebungen in Millionenhöhe und schwerwiegenden Schadensersatzforderungen führen können.

3. **Der Komplexität des Modells sind nach oben keine Grenzen gesetzt.**

Moderne Softwaresysteme bestehen aus mehreren Millionen von Programmzeilen und werden in manchen Fällen von Teams mit mehreren tausend Mitgliedern erstellt (Beispielsweise das Bürosoftwarepaket „Microsoft Office“). Die gesamte Komplexität ist nicht mehr von einem Einzelnen zu überblicken. Dadurch entsteht ein Bedarf an hierarchisch aufgebauten Modellen, die einen komplexitätsreduzierten Überblick über das Gesamtmodell ebenso ermöglichen wie einen Einblick in Detailanforderungen, der so präzise ist, dass nach diesen Anforderungen Software programmiert werden kann.

Sind diese Gesichtspunkte auch unter fachdidaktischen Aspekten von Interesse?

Die Teamfähigkeit von Modellierungssprache und Modellierungsverfahren, die Verständlichkeit und Eindeutigkeit für ein breites Publikum und die Möglichkeiten zur schrittweisen Reduktion von Komplexität sind allesamt Anforderungen, die für die Didaktik naturwissenschaftlicher und technischer Fächer von höchstem Interesse sind.

Tatsächlich ist ein Ansatz dieser Arbeit, die von der Informatik gefundenen Lösungen zu den oben definierten Problemen auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz im Unterricht naturwissenschaftlicher und technischer Fächer und für die Ausbildung von Lehrern dieser Fächer an Hochschulen zu erproben.

Vor dem Hintergrund der immensen Bedeutung von Modellen für die Informatik ist es verständlich, dass eine kaum zu überschauende Zahl von Ansätzen für die Bildung von

---

[67] Booch 1994. Seite 20ff.

[68] Brössler, P.; Siedersleben, J. (Hrsg.): Softwaretechnik. Praxiswissen für Software-Ingenieure. München, Wien: Hanser, 2000. Seite 24ff.

[69] Schmuller, J.: Jetzt lerne ich UML. München: Markt + Technik Verlag, 2000. Seite 26ff.

Informatik-Modellen existiert. Vor dem Hintergrund, dass die ursprünglichen Probleme, die in dem jungen Fach Informatik behandelt wurden, zum großen Teil entweder von den Naturwissenschaften oder von den Betriebswirtschaftswissenschaften aufgestellt wurden, verwundert es nicht, dass auch die Lösungsansätze vor allem auf diese Problembereiche abgestellt sind.

Eine umfassende Darstellung aller Modellierungstechniken der Informatik kann an dieser Stelle nicht geleistet werden. Statt dessen soll in Form eines geschichtlichen Abrisses eine Reihe von Modellierungstechniken vorgestellt werden, die typisch und kennzeichnend für die Vorgehensweisen der Informatik für eine bestimmte Dekade gewesen sind.

Die heute aktuellen Ansätze der Softwareentwicklung befinden sich derzeit in einer Konsolidierungsphase. Die zahlreichen existierenden Ansätzen und Modellierungsverfahren werden derzeit von der „Object Management Group“, an der die wichtigsten international auftretenden Unternehmen der Software-Industrie beteiligt sind, in der „Unified Modeling Language“ (UML) zusammengefasst.

3.3.1 Textuelle Analyse und Strukturierte Programmierung (60er und 70er Jahre)

Eine der wichtigsten Wurzeln der Informatik und der Entwicklung von Programmiersprachen und Programmierkonzepten war ursprünglich die Nachfrage nach rechnergestützter Bearbeitung mathematischer - und hier neben finanzmathematischer zunächst vor allem physikalischer - Informationen. Beispiele hierfür waren die Kurs- und Schubvektorberechnungen zur Durchführung von Mondflügen, die ballistischen Flugkurven thermonuklearer Gefechtsköpfe oder der Entwurf von optischen Linsensystemen für astronomische oder militärische Aufklärung.

Mit diesem Hintergrund wird es verständlich, das zahlreiche Pioniere der Informationstechnik, z.B. der Begründer der Informationstheorie Paul Shannon, erfahrene Physiker waren, die in der Informationstechnik Lösungen für die komplexen Probleme ihres Aufgabengebietes suchten (siehe dazu auch den Abschnitt zur Modellbildung in der Physik).

Gemeinhin existieren für die meisten Probleme dieser Art exakte Lösungen. Diese Lösungen hängen vom Zustand einiger Variablen zum Startzeitpunkt und von den Kalkulationen und von einer endlichen Zahl logischer Entscheidungen während des Programmlaufes ab. Ein dafür ausreichendes Programm enthält eine prozedurale Abfolge von Befehlen, die nacheinander von einem Rechnersystem abgearbeitet werden, wobei die Abfolge einem Entscheidungsbaum folgt. Das Ergebnis des Programmlaufes ist von den Startbedingungen, den Programmbefehlen, der Struktur des Entscheidungsbaums, und ggf. von einer endlichen Anzahl von Benutzereingaben zur Laufzeit abhängig, wobei die Benutzereingaben nur an bestimmten vorgegebenen Programmteilen auftreten und auch nur da wirksam werden können.

Typischerweise werden solche Probleme von Experten des Aufgabenfeldes geschrieben – entweder alleine, oder mit anderen Experten dieses Aufgabenfeldes zusammen. Da die Teammitglieder an der gleichen oder an einer vergleichbaren Problemstellung arbeiten, sind die Relationen zwischen den Aufgabenbereichen der Programmierer ebenso klar wie die

Relationen zwischen den Anwendungsfeldern der von ihnen programmierten Software. Eine einheitliche Strukturierung der Programme, die sogenannte strukturierte Programmierung[70], ermöglicht den Teammitgliedern das Verständnis der verwendeten Algorithmen. Damit wird ihnen eine Anpassung der Programme an neue oder veränderte Problemstellungen möglich. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Programme im Quellcode zur Verfügung gestellt werden (was sich vielfach nicht mit Urheberrechten oder Geheimhaltungszwang vereinbaren lässt), und dass gemeinsame Programmiersprachen und Programmierkonzepte verwendet werden.

Die seit damals gebräuchlichen grafischen Beschreibungssprachen sind sogenannte Kontrollflussdiagramme. Kontrollflussdiagramme stellen grafisch die Abfolge der Befehle beim Programmablauf und die möglichen Verzweigungen, die im Programmablauf auftreten können, dar. Die gebräuchlichen Formen von Kontrollflussdiagrammen sind der Programmablaufplan PAP und das Struktogramm.

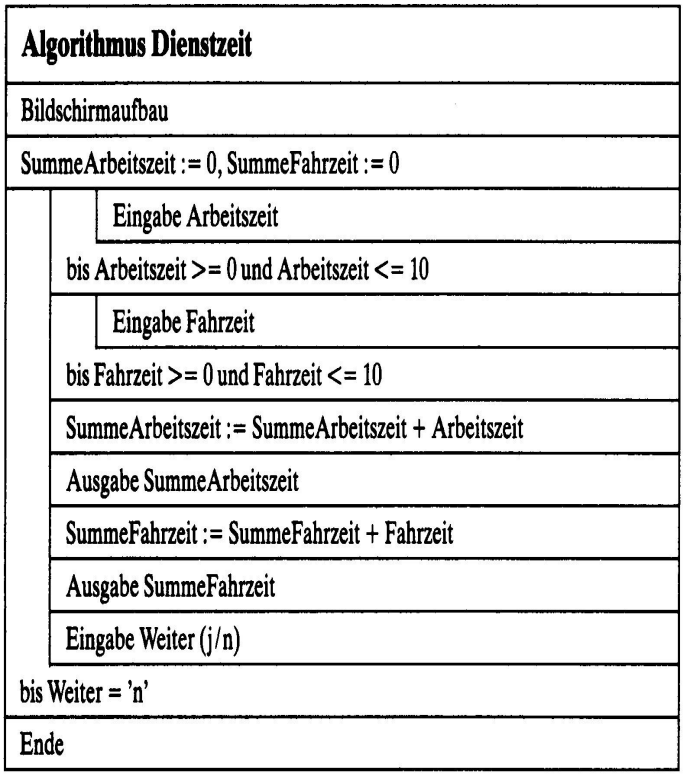


Abbildung 21: Struktogramm-Darstellung eines Programmes zur Arbeitszeitberechnung

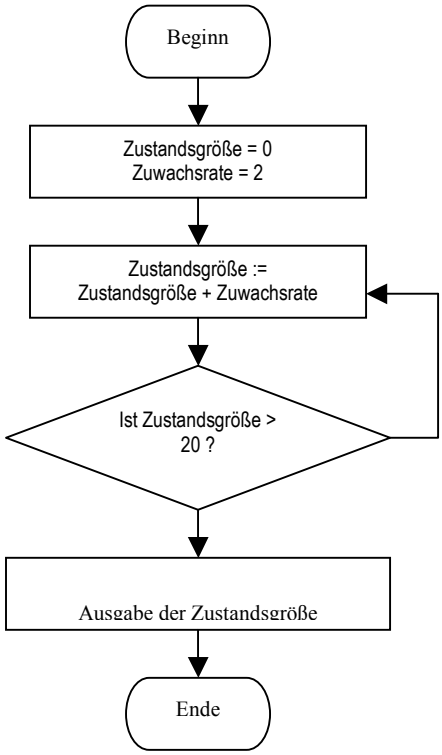


Abbildung 22: Programmablaufplan eines Programmes zur Berechnung von linearem Wachstum

[70] Doberenz, W.; Kowalski, T.: Visual Basic 6. München, Wien: Hanser 1999. Seite 307.

Das Struktogramm erzwingt die Beschränkung des Programmentwurfes auf die 5 Dijkstra-Diagramme oder D-Diagramme[71]

1. die Ausführung einer einfachen Aktion Aktion_a;
2. IF c THEN Aktion_a END;
3. IF c THEN Aktion_a ELSE Aktion_B END;
4. WHILE c DO Aktion_a END
5. die serielle Hintereinanderausführung einer oder aller der oben aufgeführten Diagramme;

Die Beschränkung auf D-Diagramme wird auch als GOTO-lose Programmierung bezeichnet. Böhm und Jacobini haben 1966 gezeigt, dass es für jedes Ablaufschema eines Algorithmus ein äquivalentes Ablaufschema gibt, das nur D-Diagramme verwendet (und damit der Definition nach selbst ein D-Diagramm ist).[72]

Es ist wichtig zu verstehen, dass Kontrollflussdiagramme keine Modellierungen eines realen Systems darstellen. Sie beschreiben lediglich den Ablauf eines Algorithmus. Verfahren der Modellierung waren damals in der Informatik noch wenig gebräuchlich; die grafisch unterstützte Analyse eines Systems fand nicht selten bei einem Arbeitsessen auf der berühmten Papierserviette statt.[73]

In den 1960er und 1970er Jahren war es im Rahmen von Fremdprogrammierungen üblich, vom auftraggebenden Fachbereich eine weitgehend formlos strukturierte Beschreibung der Programmanforderung liefern zu lassen. Diese Beschreibung gerieten in der Regel unnötig umfangreich, da die Fachbereiche und EDV-Abteilung nicht über eine gemeinsame Fachsprache verfügten und auf entsprechende Umschreibungen zurückgreifen mussten. Edgar Yourdon prägte für diese vornehmlich textorientierten Systemspezifikationen den Begriff des

---

[71] Pomberger, G.: Prozedurorientierte Programmierung. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. München: Hanser, 2. Auflage 1999. Seite 526.

[72] Die Verwendung von bedingten Sprungbefehlen (IF...THEN...GOTO-Anweisung) in Programmen führt zu einer Reihe von ernsthaften Problemen beim Programmlauf, da die Anzahl der möglichen Laufwege des Programms quadratisch mit der Anzahl der Programmzeilen steigen kann. Damit wird es den Compilern der Programmierumgebung unmöglich gemacht, den Ressourcenverbrauch und die Laufzeit der einzelnen Laufwege zu optimieren; die Fehlersuche im Programm wird dem Programmierer ebenfalls unnötig erschwert, weil der Laufweg des Programms, der zum Auftreten eines Fehlers geführt hat, nur schwer oder nicht eindeutig nachvollzogen werden kann. Heute werden Sprungbefehle im Allgemeinen nur noch zur Behandlung von „Ausnahmen vom regulären Programmlauf“ (Exceptions), mit anderen Worten von Fehlern (schlecht übersetzt: Ausnahmefehlern) eingesetzt. Bei Auftreten einer Exception springt das Programm zu einer definierten Marke, an der der Programmierer Maßnahmen vorsehen kann, die das Programm wieder in einen stabilen Zustand überführen können.

[73] Schmuller 2000. Seite 26.

„Viktorianischen Romans“ (Victorian Novel)[74], der stellvertretend für die Klasse der text-orientierten Spezifikationen aus der Zeit vor dem Durchbruch der strukturierten Analyse DeMarcos steht: „We have to stop writing Victorian novel specifications, enormous documents that can only be read from start to finish.“[75]

3.3.2 Strukturierte Analyse und modulare Programmierung (80er Jahre)

Das Verfahren der strukturierten Analyse wurde 1978 von Tomas DeMarco publiziert[76] und war damit „das erste einigermaßen verbreitete und konsensfähige Modell, mit dem Software-Analyse systematisch spezifiziert werden konnte“[77]. Für Tomas DeMarco waren die Probleme der Entwicklungsdokumente der 60er und 70er Jahre:

- zu hohe Redundanz der Information,
- zu hohe Wortlastigkeit,
- zu hohe Ausrichtung auf die physikalische Struktur des Computersystems (Implementationsdominierung),
- zu hohe Anstrengung beim Lesen und Schreiben.

DeMarco beschreibt folgenden Ansatz als Grundlage seiner strukturierten Analyse[78]: „Offensichtlich ist die Analyse eines Systems umso komplexer, je größer das System ist. Wir können nicht viel tun, um die Größe eines Systems zu limitieren, aber: es gibt intelligente und weniger intelligente Wege, mit Größe umzugehen. Ein intelligenter Weg, mit Größe umzugehen, ist die Aufteilung. Das ist genau das, was Designer mit einem System machen, das zu groß ist um es zuverlässig zu handhaben - sie zerlegen es in einzelne Komponenten (auch Module genannt)“. Genau dieser Ansatz ist auch für die Systemanalyse gefordert.

Wesentliche Ideen der Strukturierten Analyse sind[79]:

- die Gliederung des Softwaresystems in logische Komponenten wie Datenflüsse, Speichermedien und Prozesse. Dies entspricht dem funktionalen Konzept der Systemtheorie in der Darstellung gemäß Ropohl[80]

---

[74] Yourdon, E.: Modern Structured Analysis. New York: Prentice-Hall, 1989.

[75] DeMarco, T.: Structured Analysis and System Specification. New York: Yourdon Press 1978. Seite 13.

[76] DeMarco 1978.

[77] Beer, J.: Systemspezifikation. In: Brössler, P.; Siedersleben, J.: Softwaretechnik - Praxiswissen für Software - Ingenieure. München, Wien: Hanser, 2000.

[78] DeMarco 1978, Seite 12. (Übersetzung aus dem Englischen durch den Autor).

[79] Vgl. ebd.

[80] Ropohl 1999. Seite 76.

- die Darstellung dieser Komponenten und ihre Beziehungen zueinander in **genau definierten** grafischen Modellen wie etwa Datenfluss-Diagrammen. Dies entspricht dem strukturalen Konzept der Systemtheorie in der Darstellung gemäß Ropohl[81]

- der Verfeinerungsgedanke: Das Softwaresystem wird zunächst grob auf einer hohen Abstraktionsebene beschrieben; mit den gleichen Modellen werden dann weitere Detaillierungsstufen dargestellt. Dies entspricht dem hierarchischem Konzept der Systemtheorie in der Darstellung gemäß Ropohl.[82]

Die strukturierte Analyse DeMarcos wird damit als eine Ausprägung der Systemtheorie nach dem Stand der 1970er Jahre erkennbar, die für die spezielle Anforderung der strukturierten Programmierung entworfen worden ist.

Die Weiterentwicklung, die durch die strukturierte Analyse stattgefunden hat, wird vor allem durch die Betrachtung der Data Flow Diagrams deutlich. Die Kontrollflussdiagramme, die bei der strukturierten Programmierung benutzt werden, zeigen mit ihren Ja/Nein Entscheidungen, Verzweigungen und Schleifen den Fluss der **Kontrolle** durch die Software. Das Datenflussdiagramm zeichnet die Perspektive der **Daten –** also von Information - bei ihrem Fluss durch das System.

Wichtige prinzipielle Unterschiede von Datenflussdiagrammen zu Kontrollflussdiagrammen:

- Kontrolle ist keine der fundamentalen Flussgrößen Stoff, Energie und Information.

- Der Kontrollfluss ist stark von der gewählten Programmimplementierung abhängig, so dass Kontrollflussdiagramme zu den Implementationsgetriebenen Entwurfsformen gezählt werden müssen.

- Kontrollflussdiagramme zeigen die Perspektive der Prozesse, die auf den Daten arbeiten.

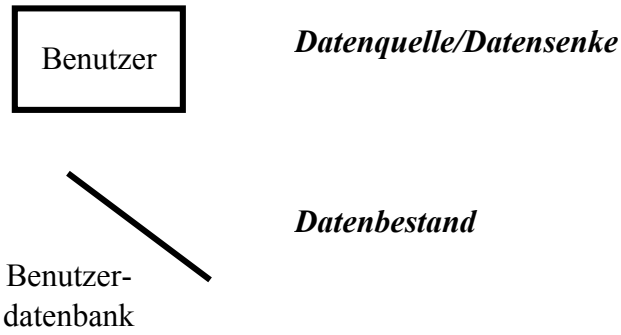
---

[81] Ebd.

[82] Ebd.

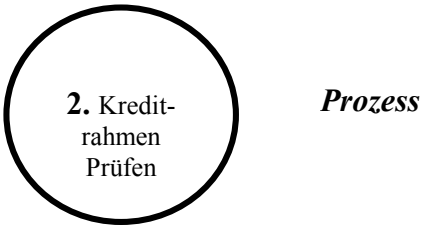
Elemente des Data Flow Diagram sind:

- die **Datenquelle** oder **Datensenke**, die als außerhalb der Systemgrenze zu betrachten ist. Typischerweise wird hierunter der Benutzer verstanden, der mit dem System interagiert. Das Symbol für die Datenquelle oder Datensenke ist eine Kiste mit eingeschriebenem Namen.



- die Datei oder Datenbank, dargestellt als einfachen Strich mit Bezeichnung, in der Daten persistent gespeichert werden.

- der **Prozess**, dargestellt als Kreis mit eingeschriebener Bezeichnung, der eine geeignete Transformation auf dem Datenfluss vornimmt, die durch eine entsprechende Übertragungsfunktion beschrieben wird.



- der **Datenfluss**, ein gerichteter und bezeichneter Vektor**,** der zwei Prozesse, oder einen Prozess und eine Datenquelle/Datensenke, oder einen Prozess und eine Datei oder Datenbank miteinander verbindet.

Besondere Eigenschaften des Datenflussdiagramms:

- Das System wird sofort in einzelne Prozesse aufgeteilt, die sich prinzipiell getrennt erstellen lassen.
- Alle Schnittstellen zwischen den Prozessen werden sofort ersichtlich und können entsprechend präzise definiert werden.

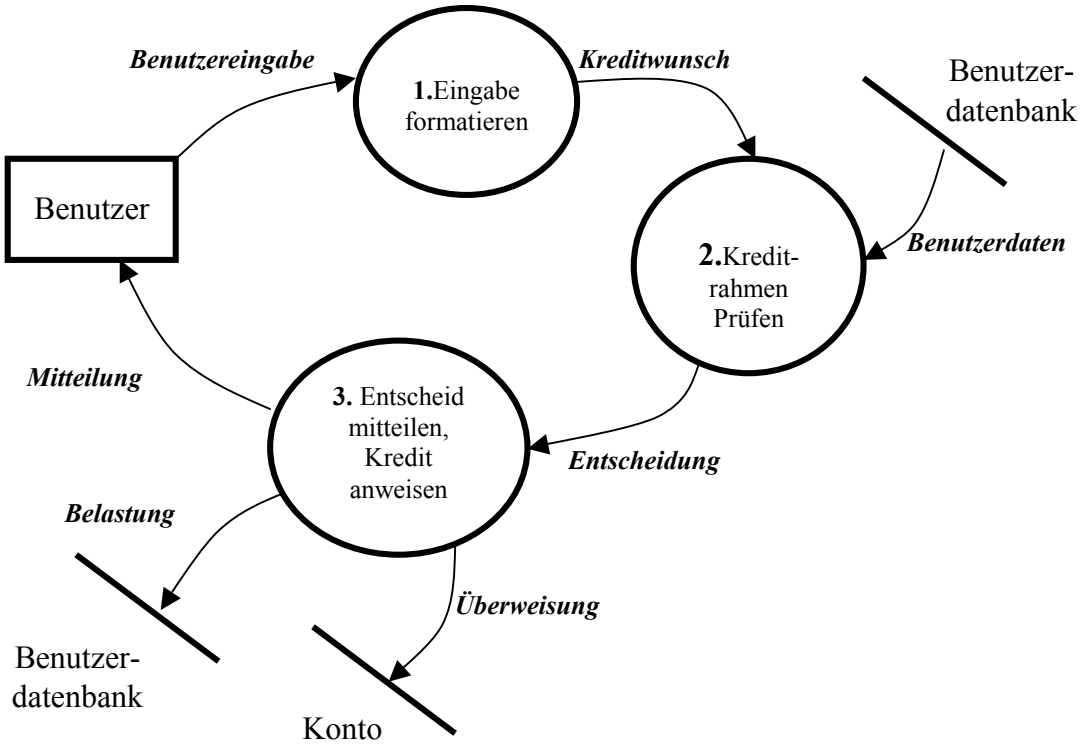


Abbildung 23: Datenflussdiagramm zum Vorgang „Kredit vergeben“

Die Wahl des Umfangs eines elementaren Prozesses ist eine viel diskutierte Aufgabe. DeMarco schlägt die „funktionale Aufteilung“ (functional partitioning) als optimales Maß vor und definiert dazu: „Eine Aufteilung kann als funktional bezeichnet werden, wenn der Umfang der Programmierschnittstellen zwischen den Prozessen minimal wird.“[83]

Die Benennung der Prozesse richtet sich streng nach der Art der Transformation, die der Prozess auf dem Datenstrom vornimmt - beispielsweise: „Benutzereingabe prüfen, formatieren und in Datenbank speichern“. Die Benennung der Prozesse geschieht daher erst, wenn die Benennung der Datenflüsse abgeschlossen ist, da sich nur aus den Namen der ein- ausgehenden Datenflüsse ein adäquater Name für den Prozess bilden lässt.

[83]DeMarco 1978, Seite 42.

Für die hierarchische Strukturierung, die nach der Top-Down-Methodik schrittweise vom groben zum verfeinerten Modell erfolgt, schlägt DeMarco eine gegliederte Nummerierung der Prozesse vor. Die Abbildung zeigt den Datenfluss im Teilprozess 2: „Kreditrahmen prüfen“ aus dem vorhergehenden Diagramm.

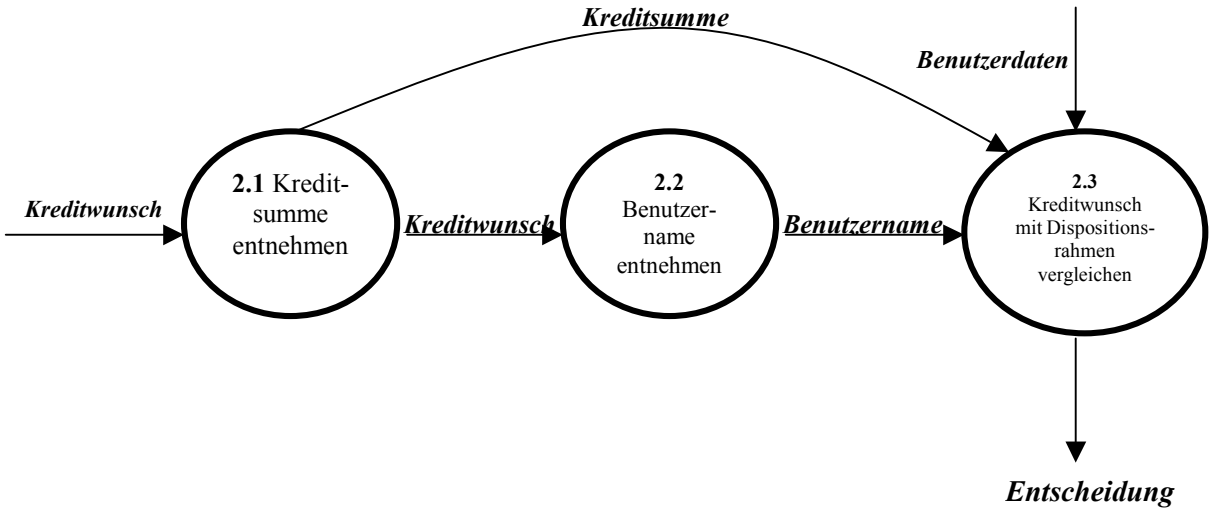


Abbildung 24: Datenfluss im Teilprozess „Kreditrahmen feststellen“

Parallel zur strukturierten Analyse erfolgte in den 70er Jahren die Entwicklung modularer Programmiersprachen, zum Beispiel durch Nicolaus Wirth (MODULA) und Jean Ichiba (ADA). Die modulare Programmiertechnik fand durch den Zusammenhang mit der strukturierten Analyse in den 80er Jahren starke Verbreitung und wurde in die meisten zeitgenössischen Programmiersprachen wie z.B. Turbo-Pascal integriert.

Bei der strukturierten Analyse und der modularen Programmierung werden Datensätze zwischen den Prozessen übergeben. Mit anderen Worten besteht der Datenfluss zwischen den Prozessen aus einer Menge von Informationen, deren Struktur genauer zu definieren ist. Dies ist ein fundamentaler Unterschied zur Objektorientierten Programmierung, die wir später betrachten werden: hierbei sind es nicht die Datenflüsse, die genau spezifiziert werden müssen, sondern es sind die Objekte, die Daten in einer bestimmten Struktur akzeptieren oder veröffentlichen. Die Struktur der Datenflüsse zwischen den Objekten ergibt sich entsprechend aus den Gemeinsamkeiten der Schnittstelle zwischen den Objekten.

Die Entwicklung der Spezifikation von Informationssystemen ist in den letzten 20 Jahren nicht stehen geblieben. So macht Beer deutlich: „Gegenüber den OOA-Methoden (den noch zu beschreibenden Methoden der Objektorientierten Analyse, Anm.) hat die strukturierte Analyse an Bedeutung verloren“[84].

[84] Beer 2000.

3.3.3 Objektorientierte Analyse, Objektorientierte Modellbildung und Objektorientierte Programmierung (seit 1990)

3.3.3.1 Entwicklungsgeschichte

In den 1960er Jahren wurde es deutlich, dass sich mit der strukturierten Programmierung eine Reihe komplexer, oder gar interdisziplinärer Probleme nicht lösen lassen. Beispiele hierfür sind industrielle Echtzeitprobleme, bei denen ein großes Datenvolumen zentral verarbeitet werden muss und laufend an den momentanen Zustand vieler miteinander in Verbindung stehender Systemkomponenten angepasste Entscheidungen getroffen werden müssen. Beispiele dafür sind z.B.:

- komplexe Organisationsformen wie ein Hafen- oder Speditionslogistikbetrieb,
- Spracherkennung oder
- Forschung im Bereich Künstlicher Intelligenz KI.

Für alle genannten Problemen ist eine geschlossene formale Darstellung nicht möglich[85]; es erwies sich aber in diesem Zusammenhang als Lösung, einzelne kontextrelevante Elemente des komplexen Systems, die durch ihr Verhalten und durch ihre jeweils zu erkennenden Zustände beschrieben werden können, zu modellieren.

Ihr Ursprung in der Problemstellung der Modellierung und der komplexen Simulation macht die Objektorientierung für die naturwissenschaftliche und technische Bildung so interessant. Die Entwicklung objektorientierter Programmiersprachen begann mit dem Entwurf von SIMULA 67 durch Dahl, Myrhaug und Nygaard in Oslo 1965. SIMULA ist im wesentlichen eine Erweiterung der damals verbreiteten Programmiersprache ALGOL 60 zur Lösung ereignisgesteuerter Simulationsaufgaben. 1974 baute Adele Goldberg vom XEROX PARC mit der Entwicklung von SMALLTALK auf SIMULA 67 auf.

Adele Goldberg „erklärt implizit einen Teil ihrer Ideen, indem sie sie auf das Entwurfsprinzip ‚Kooperation von Objekten' (im Gegensatz zur hierarchischen Dekomposition von Problemen) zurückführt; damit wird im übrigen klar, dass Objektorientierung vor allem eine Entwurfsmethodik ist und die üblicherweise als wesentlich genannten Begriffe Klasse, Vererbung und Polymorphie (...) nur Implementierungshilfsmittel für dieses Entwurfsprinzip sowie für den Entwurf wiederverwendbarer Software sind."[86]

Die Autorengruppe um Rebecca Wirfs-Brock formuliert als Kern der Objektorientierung die Aussage: „Der objektorientierte Ansatz versucht, die unausweichliche Komplexität realer

---

[85] Kilbert, K.; Gryczan, G.; Züllighoven, H.: Objektorientierte Anwendungsentwicklung. Braunschweig: Vieweg, 1993.

[86] Goos, G.; Zimmermann, S.: Programmiersprachen. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G.(Hrsg.): Informatik-Handbuch. München: Hanser, 2. Auflage 1999. Seite 513.

Probleme dadurch in den Griff zu bekommen, dass Wissen abstrahiert und in Objekte gekapselt wird. Um diese Objekte zu finden oder zu erzeugen, müssen wir Wissen und Aktivitäten strukturieren können“[87].

3.3.3.2 Die Unified Modeling Language UML

Seit dem Beginn der Entwicklung hat die Objektorientierung in Analyse, Modellierung und Programmierung eine enorme Verbreitung erfahren. Dies führte zu einer Vielzahl von verschiedenen Ansätzen nicht nur bei der Umsetzung in angemessene Programmiersprachen, sondern auch bei den Methoden zur grafischen Modellierung von Systemen. Zur Vereinheitlichung der weiteren Entwicklung wurde 1989 von 11 Firmen, darunter 3Com, Unisys, Hewlett-Packard, Sun, Phillips und Canon, ein gemeinsamer Ausschuss gegründet, die Object Management Group OMG. Heute zählt die OMG 800 Mitglieder, darunter auch Microsoft.

Vor dem Hintergrund der teaminternen und teamübergreifenden Kommunikation wurde auch die Entwicklung einer vereinheitlichten grafischen Symbolsprache, quasi einer *lingua franca* der Modellierung, für die Weiterentwicklung der Modellbildung in der Informatik bedeutsam und für die Betriebe der IT-Industrie zu einem Wirtschaftsfaktor.

Eine Teilaufgabe der OMG ist daher das Entwickeln und Einführen einer einheitlichen Modellierungssprache, mit der sich Entwickler verschiedener Firmen, die mit der Objektorientieren Analyse von Geschäftsprozessen und dem Design von Systemen zur Abbildung dieser Prozesse beschäftigt sind, über ihre Aufgabe verständigen können.

Das Produkt dieser Bemühung ist die Unified Modeling Language UML. Die UML existiert derzeit als Version 2.0 und ist als Standard-Modellierungssprache für das Software-Design zu betrachten.

Da es im wesentlichen ein Tool zu Software-Modellierung ist, werden lediglich die Informationsflüsse in Systemen betrachtet. Weiterhin ist die UML in ihrem ganzen Umfang stark von den Ansprüchen der Wirtschaftsinformatik geprägt, da zahlreiche Anwendungsfälle für objektorientierte Informationssysteme nach wie vor einen betriebswirtschaftlichen Hintergrund haben. Dennoch kann eine genaue Auseinandersetzung mit dem gut ausdifferenzierten und hoch entwickelten System der UML wertvolle Impulse für eine Weiterentwicklung der Modellierungsmethoden der Physik, und ganz besonders für das System der allgemeinen Technologie liefern.

In der Informatik und Informatikdidaktik wird der UML bereits heute eine hohe Bedeutung zugesprochen. Die Arbeitsgruppe „Didaktik der Informatik“ der Universität Paderborn (Prof. Magenheim) entwickelt und evaluiert zur Zeit im Rahmen des vom Universitätsverbunds MultiMedia des Landes NRW geförderten Projekts „LIFE³“ eine Unterrichtsreihe zur Einführung Objektorientierter Modellierungsmethoden im Informatikunterricht an allgemeinbildenden Schulen. Hierbei nutzen die Lerngruppen ein in Symbolumfang und Komplexität reduziertes UML, um zunächst eine vorhandene softwaretechnische Problemlösung zu analysieren und mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen die Lösung für ein neues Problem zu modellieren. Die ersten Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass durch

---

[87] Wirfs-Brock, R.; Wilkerson, B.; Wiener, L.: Designing Object-Oriented Software. New York: Prentice-Hall, 1990.

den Einsatz der Symbolsprache tatsächlich die Konzepte des Problemlösens bei der Softwareentwicklung erfolgreich vermittelt werden können, anstatt wie sonst vor allem die Details einer Programmiersprache.[88]

Ein wichtiges Merkmal der UML ist ihre Möglichkeit, sich unterschiedlichsten Komplexitätsniveaus anzupassen. Während mit einem vereinfachten Symbolschatz bereits in der 10. Klasse effizientes Arbeiten mit Schülern möglich ist (Vergleiche die Erprobung- Unterrichtsreihe „Einsatz Objektorientierter Modellbildung bei der Analyse technischer Systeme im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 10“ im vierten Kapitel dieser Arbeit), ist UML für Techniker und Software-Ingenieure heute ein verbreitetes und anerkanntes Mittel zur technischen Kommunikation. Diejenigen, die bereits in der Schule die Grundlagen von UML bei ihren Problemlösungen nutzen, haben damit den Vorteil, frühzeitig eine aufwuchsfähige Methode kennen gelernt zu haben, die sie bei einer Vielzahl möglicher Ausbildungswege und Tätigkeiten in Informatik, Naturwissenschaft und Technik begleiten wird.

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Entwicklung der Objektorientierung durch eine Vielzahl konkurrierender und sich ergänzender Methoden und grafischer Modellierungssysteme geprägt worden. Auf die Vielzahl der Ansätze einzugehen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen; statt dessen soll die Auseinandersetzung mit den Objektorientierten Modellbildung in der Informatik vorwiegend anhand der Unified Modeling Language geschehen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass die UML eben keine revolutionäre Neuentwicklung ist, sondern von den Autoren als die sorgfältige Zusammenführung und Konsolidierung der bisher verbreiteten Ansätze verstanden wird.[89]

3.3.3.3 Grundlagen der Objektorientierung

Objektorientierte Modellbildung orientiert sich an den Konzepten der Realität, anstatt von den technischen Gegebenheiten der Computersysteme auszugehen. Das zugrundeliegende geistige Konstrukt ist das Objekt. Objekte in der realen Welt können Tische, Stühle, Menschen, Autos oder andere Gegenstände sein. Dies spiegelt sich in der menschlichen Sprache wieder, die das grammatikalische Konstrukt des Objektes als Satzteil kennt. Hauptwörter füllen diesen Teil des Satzes, bilden somit den „formalen und funktionalen Zielpunkt des verbalen Geschehens“[90], und dienen im Satz als Repräsentationen der realen Objekte der Umwelt.

Der Hund, der in einem Satz erwähnt wird, löst beim Betrachter die Vorstellung von einem haarigen Vierbeiner aus, weil der Betrachter das Wort „Hund“ als einen Begriff für eine ganze Klasse von Säugetieren erkennt, und ihm die grundsätzlichen Eigenschaften dieser Klasse sehr wohl bekannt sind.

---

[88] Sixth Workkshop on Pedagogics and Tools for Learning Object Oriented Concepts at 16th European Conference on Object-Oriented Programming. Malaga, Spain: June 10-14, 2002.

[89] The Object Management Group (Hrsg.): OMG Unified Modeling Language Specification. Version 1.2, Juli 1998. Seite 1-6.

[90] Drosdowski, G. et al. (Hrsg.): Duden „Grammatik der deutschen Gegenwartssprache“. Mannheim: Dudenverlag, 5. Auflage 1995. Seite 618.

Attribute dienen im Satz der näheren Beschreibung dieser Objekte; sie geben Auskunft über bestimmte, zu den Objekten gehörige und im Kontext relevante Eigenschaften, wie Größe, Farbe, Herkunftsland, ...

Zuletzt finden wir in der deutschen Sprache die Verben als bedeutsame Satzteile, welche die Tätigkeiten und Aktionen der Subjekte und Objekte in der Umwelt beschreiben.

Objektorientierte Sprachen sind analog zu diesem Paradigma der Verbalsprachen aufgebaut. Grundlegender Sprachbestandteil, vergleichbar dem Hauptwort, ist das Objekt[91]. Objekte sind aufgrund der in ihnen programmierten Routinen in der Lage, bestimmte Aktionen auszuführen; wie der Sachbearbeiter in einem Unternehmen verfügen sie zusätzlich über einen eigenen Bestand an Daten, die sie zur Ausführung der Aktionen benötigen. Brauchen sie zusätzliche Informationen, müssen sie auf die Dienstleistung anderer Sachbearbeiter - anderer Objekte - zurückgreifen, bei denen diese Informationen zu finden sind. Der Begriff des Objektes umschließt in der OOP einheitlich sowohl die Datenbank, die alle Kundeninformationen einer Firma beinhaltet, als auch den Verwaltungsprozess, der auf diese Informationen zugreift, als auch die grafische Benutzeroberfläche, auf der die Daten ausgegeben werden.

Die Tätigkeiten, die die Objekte auszuführen in der Lage sind, werden als ihre Methoden bezeichnet; sie entsprechen den Verben, die den Hauptwörtern eines Satzes zugeordnet und mit einem bestimmten Hauptwort, z.B. einer Person, im Verlauf eines Textes verbunden werden. Die Eigenschaften der Objekte, die im Satz als Attribute erscheinen, heißen auch bei der objektorientierten Programmierung Eigenschaften.

Die Grundlage der Objektorientierten Programmierung bilden also Objekte, die durch ihre Eigenschaften und Methoden definiert sind. Die Objekte, Eigenschaften und Methoden müssen irgendwann einmal in einer Objektklasse definiert worden sein, und können dann in unterschiedlichen Kontexten gebraucht werden.

Die der Objektorientierten Programmierung vorausgehende Objektorientierte Modellbildung hat das Ziel, die Objekte, Eigenschaften und Methoden, das Verhalten derselben und den Zusammenhang zwischen ihnen zu definieren. Das dafür angewandte Verfahren ist die Objektorientierte Analyse, die gezielte Suche nach Objekten in einem realen Kontext. Die durchgängige Verwendung des Objektparadigmas von der Analyse über die Modellbildung zur Programmierung ist der Grund für den enormen Erfolg und die weitgehende Verbreitung der Objektorientierung.[92] [93] [94]

---

[91] Vgl. Booch 1994. Seite 111.

[92] Kilberth 1993. Seite 2.

[93] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Informatik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999. Seite 29.

[94] Rumbaugh 1991. Seite 1.

Einsteigern in die Objektorientierte Analyse wird oft geraten, sich von einem Fachmann oder Kunden das zu analysierende System in seiner eigenen Sprache beschreiben zu lassen. Dabei sollen die Analytiker dann aus den Substantiven dieser freien Rede Objektklassen bilden, und aus den Verben die Methoden[95].

3.3.3.4 Beispiel zur Vorgehensweise

An einem einfachen Beispiel soll der komplette Zyklus der objektorientierten Analyse, Modellbildung und Programmierung vollzogen werden.

Ein Autofahrer äußert die Behauptung, „leichte Autos würden besser beschleunigen". Nach mehrfacher Bitte um Präzisierung erhalten wir einen sprachlich und physikalisch korrekten Satz, der zum Ausgangspunkt der Objektorientierten Analyse werden soll.

Autos mit geringem Gewicht erhöhen bei gleicher Antriebskraft ihre Geschwindigkeit schneller als Autos mit hohem Gewicht.

Mit den Mitteln der Objektorientierten Analyse können wir daraus folgende Fakten ableiten:

1. Es gibt eine Klasse von Objekten, die Autos heißt.
2. Autos besitzen die Eigenschaften „Gewicht" und „Antriebskraft".
3. Autos können sich in diesen Eigenschaften unterscheiden.
4. Eine weitere Eigenschaft von Autos ist ihre Geschwindigkeit.
5. Allen Autos ist gemein, dass sie selbst ihre Geschwindigkeit ändern können.
6. Wie sie das machen, steht in einem Zusammenhang mit ihren Eigenschaften „Gewicht" und „Antriebskraft".

Wir benutzen diese Informationen zur Modellierung einer Klasse „Auto". Die von der Klasse abgeleiteten Auto-Objekte sollen alle über die Eigenschaften „gewicht", antriebskraft" und „geschwindigkeit" (sic) verfügen. Das Gewicht und die (maximale) Antriebskraft werden im Rahmen dieser Problemstellung als Konstanten angenommen, die während der Programmlaufzeit keine Veränderung erfahren sollen (eine intendierte Verkürzung der realen Gegebenheiten!). Die Geschwindigkeit ist eine variable Eigenschaft.

Die nach außen sichtbare Aktivität der Auto-Objekte soll sein, dass sie ihre Geschwindigkeit ändern. Dieses Verhalten wird durch eine Methode mit der umgangssprachlichen Bezeichnung „geschwindigkeitÄndern" modelliert.

Die Schreibweise entspricht der in der UML vorgenommenen Normung. In einer Analogie zu den Adjektiven und Verben der Verbalsprache werden Eigenschaften und Methoden bei der Objektorientierten Modellierung und Programmierung durch Kleinschreibung des ersten

[95] Ebd. Seite 65 ff.

Buchstabens kenntlich gemacht. Komposita werden nicht durch einen Bindestrich verbunden, statt dessen schreibt man den ersten Buchstaben des folgenden Wortes in jedem Fall groß. Die Eigennamen von Klassen und Objekten werden, ähnlich wie in der deutschen Sprache, durch Großschreibung kenntlich gemacht[96].

Für die grafische Repräsentation einer Klasse wird in der UML das „Klassendiagramm" verwendet. Ein Klassendiagramm hat die Form eines in drei Segmente unterteilten Rechteckes. In übersichtlicher Art und Weise wird hier der Name der Klasse (oberstes Segment), die Eigenschaften (mittleres Segment) und die Methoden der Klasse (unterstes Segment) präsentiert.

Abbildung 25: UML-Klassendiagramm

Diese Klassendefinition ist sozusagen der Arbeitsvertrag, den diese Klasse mit dem gesamten zu erstellenden Modell abschließt. Die Objekte der Klasse „Auto" verpflichten sich, die im mittleren Teil genannten Eigenschaften auszuweisen, und die im unteren Teil genannten Methoden eigenverantwortlich auszuführen. Die Details dieser Ausführung bleibt die Sache des verantwortlichen Objektes.

Das genau ist das Prinzip der „Objektkapselung". Es wird auch als das „Geheimnisprinzip der Objektorientierten Modellierung" bezeichnet. Auf diese Weise können bei nachfolgenden Wartungsarbeiten Details der Methodenausführung in den Objekten ohne Rückfrage geändert bzw. verbessert werden – solange nur der „Arbeitsvertrag" nach außen hin erfüllt bleibt.

In diesem Beispiel beschließt das Programmiererteam, den Zusammenhang zwischen Antriebskraft, Gewicht und Geschwindigkeit durch eine einfache analytische Formel zu modellieren. Einem Physikbuch entnimmt das Team den Sachverhalt:

$$\Delta\vec{v} = \vec{a} \cdot \Delta t = \frac{\vec{F}}{m} \cdot \Delta t$$

An dieser Stelle wird deutlich, dass eine zusätzliche Information in das Modell eingebracht werden muss, nämlich die Zeit Δt, die seit der letzten Aktualisierung der Geschwindigkeit vergangen ist. Das Team hat nun die Design-Entscheidung zu treffen, ob:

1. Diese Zeit im Inneren des Objektes – nach außen unsichtbar – verwaltet werden soll; dies könnte geschehen, indem das Objekt die Zeit des letzten Aufrufes in einer nach

[96] Vgl.: Schmuller 2000. Seite 60.

außen nicht sichtbaren („privaten“) Variable speichert und die Differenz zur aktuellen Systemzeit berechnet;

2. Oder festgelegt wird, dass dem Objekt bei jeder Anfrage von außen explizit mitgeteilt werden muss, wie viel Zeit seit der letzten Aktualisierung als vergangen angenommen werden soll.

Das Programmierteam entscheidet sich für die Möglichkeit (2.), weil diese flexibler ist und zum Beispiel eine Simulation mit mehrfacher Echtzeit ermöglicht. Weiterhin soll die Beschleunigung des Autos mit Hilfe der Gaspedalstellung gesteuert werden können. Damit ist eine Erweiterung des „Objektvertrages“, also der Klassendefinition, notwendig geworden:

Auto
Konstante: gewicht Konstante: antriebskraft Variable: geschwindigkeit
(Methode:) geschwindigkeitÄndern(Gaspedal as double, delta_t as double)

Abbildung 26: UML-Klassendiagramm „Auto“

Die Ergänzung der Methode macht deutlich, dass dem Objekt zwingend zusätzliche Informationen übergeben werden müssen, damit es die Methode geschwindigkeitÄndern korrekt ausführen kann. Diese Information sollen bei jedem Aufruf der Methode mit übergeben werden. Auch das Format der Information wird an dieser Stelle durch den Variablentyp festgelegt[97].

Das Modell ist jetzt sowohl von den nach innen als auch den nach außen reichenden Beziehungen wohldefiniert; die Objektorientierte Modellbildung ist an diesem Punkt abgeschlossen. Nun kann mit der Objektorientierten Programmierung begonnen werden.

Realisierung der Klasse „Auto“ in Visual Basic:

```
Public gewicht As Double
Public antriebskraft As Double
Public geschwindigkeit As Double

Public Sub geschwindigkeitÄndern(delta_t As Double, gaspedal As Double)
   geschwindigkeit=geschwindigkeit+(antriebskraft*gaspedal/gewicht)*delta_t
End Sub
```

[97] In Visual Basic bezeichnet der Typ „double“ eine Fliesskommazahl im Wertebereich von -1,8E308 bis -4,94E-324 für negative Werte und 4,94E-324 bis 1,8E308 für positive Werte.

Man erkennt die konzeptuelle Nähe zum Klassendiagramm. Im oberen Teil werden die Konstanten und Variablen deklariert; die Kennzeichnung „Public“ besagt, dass auf diese Variablen von außen lesend und schreibend zugegriffen werden kann. Die Methode „geschwindigkeitÄndern“ verknüpft auf einsichtige Art die Variablen und Konstanten gemäß dem physikalischen Zusammenhang. Die Variable „geschwindigkeit“ wird gemäß dem einfachen Euler-Verfahren bei jeder Iteration um den errechneten Geschwindigkeitszuwachs erhöht.

Der gegebene Zeitraum delta_t soll in Form einer Variable des Typs „double“ beim Aufruf an die Methode übergeben werden; ebenso die aktuelle Gaspedalstellung, die für die Dauer der Iteration als gegeben betrachtet werden soll. Dies wird durch die Parameter in der Klammer der Methodendefinition festgelegt.

Bis hierhin wird die Besonderheit der Objektorientierung im Vergleich zur strukturierten Programmierung noch nicht deutlich. Erst beim Einsatz der Klasse in einem entsprechenden Modell wird die besondere Vorteil von Objekten, nämlich eine Einheit aus Informationen und der mit den Informationen arbeitenden Methoden zu bilden, deutlich.

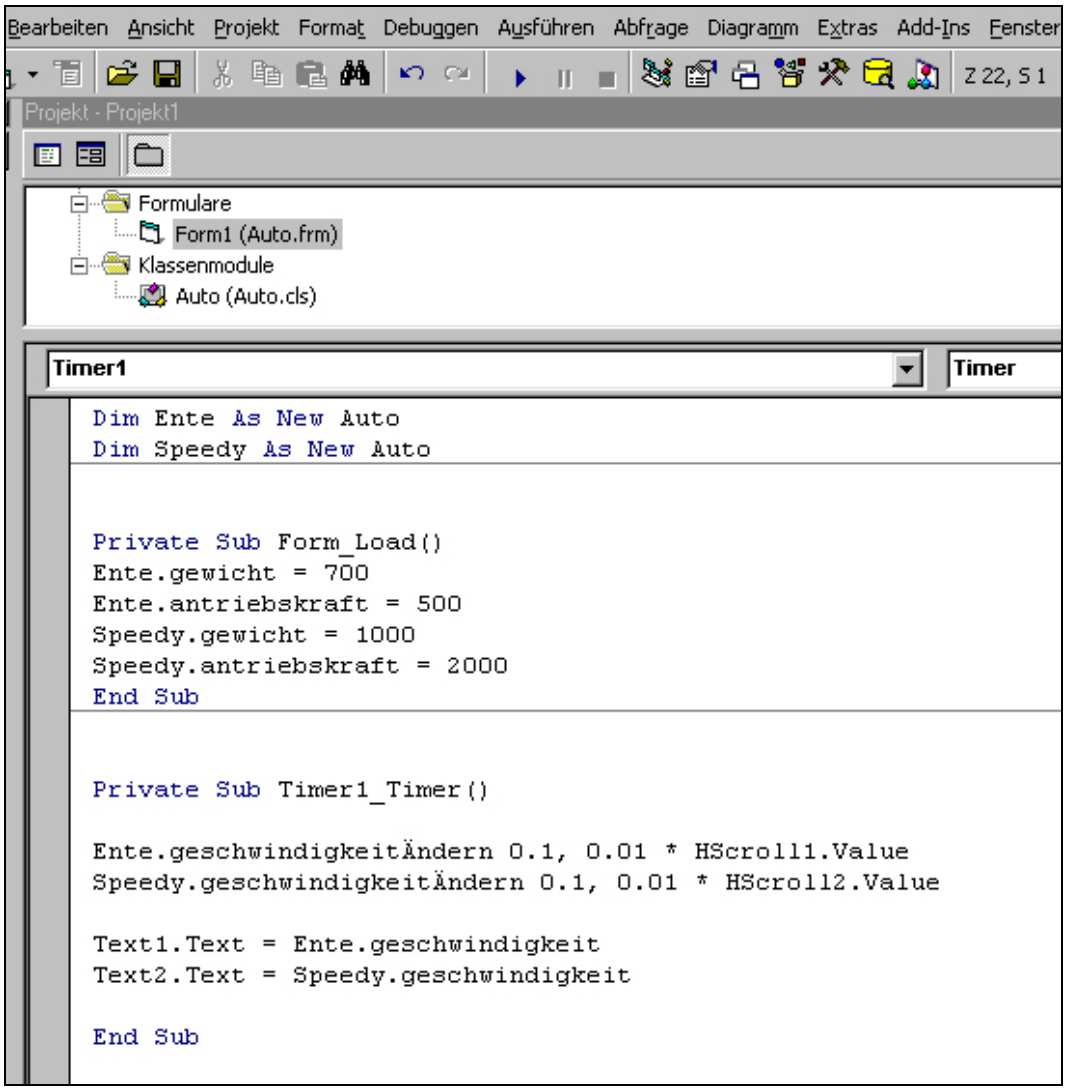


Abbildung 27: Ein mit einer objektorientierten Programmiersprache umgesetztes Modell bildet die im Klassendiagramm festgesetzte Struktur 1:1 ab.

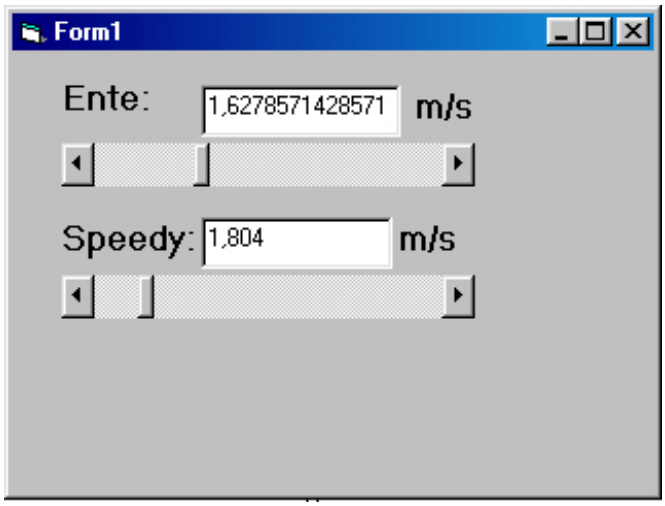


Abbildung 28: Die grafische Schnittstelle zur interaktiven Variation von Modelleigenschaften

Objektorientierung ist ein sehr umfassendes und vielschichtiges Paradigma der modernen Informatik. Die enorme Bandbreite der einschlägigen Forschung, Entwicklung und Programmierpraxis kann im Rahmen dieser Arbeit nicht annähernd wiedergegeben werden; an dieser Stelle konnten lediglich einige grundlegende Begriffe erläutert werden. Zur Weiterführung muss auf Literatur, z.B. auf die Grundlagenwerke von Booch und Rumbaugh verwiesen werden.

3.3.4 Zusammenfassung

Die Betrachtung der Methodiken der einzelnen Disziplinen zeigt einen interessanten Unterschied im Grad der Reife von Methoden zur Analyse und zum Design von Systemen. Die stärkste Entwicklung hat in den letzten Jahren sicherlich die Disziplin des ingenieurmäßigen Entwurfs von Software, das Software - Engineering, durchgemacht.

Ward und Mellor beschreiben eine Entwicklung, die sie als den Übergang vom implementierungsdominierten zum problemdominierten Entwurf beschreiben: „es scheint einen historischen Zyklus für viele Ingenieursdisziplinen zu geben. In der frühesten Phase des Zyklus gibt es einfach keine adäquate Technologie, eine spezielle Art von Problem zu lösen. (...) Die nächste Phase ist die, in der eine Technologie gerade eben imstande ist, eine Art von Problem zu lösen. Ingenieurmäßiges Vorgehen zur Lösungsfindung ist in dieser Phase unvermeidlich implementierungsdominiert, und der Blickwinkel des Ingenieurs kann charakterisiert werden als: Wie kann das Problem verändert werden, damit es zu einer vorhandenen Lösung passt? Eine dritte Phase des Zyklus tritt auf, wenn die Implementierungstechnologien mächtiger werden oder wenn alternative Technologien erfunden werden. Während dieser Phase wächst die Kategorie der lösbaren Probleme und die Technologie wird zur Lösung des Durchschnittsproblems mehr als angemessen. Die Vorgehensweise des Ingenieurs verschiebt

sich entsprechend von der implementierungsdominierten zur problemdominierten. Die letzte Phase kann als Reifezeit der Ingenieursdisziplin bezeichnet werden.“ [98]

In den 1970er Jahren war die Struktur informationstechnischer Problemlösungen noch entschieden von der Struktur und den Beschränkungen der zur Verfügung stehenden Datensysteme dominiert. Damit prägten die Gegebenheiten und Beschränkungen der Datensysteme auch die Herangehensweise an die Lösung von Problemen; diese waren Implementationsdominiert, arbeiteten mit Begriffen wie der EVA-Metapher (Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe), beschäftigten sich mit Vorgaben wie der bestmöglicher Speichernutzung (was zu Lösungen wie der Kürzung des Datumsformats auf zweistellige Jahreszahlen und damit zum bekannten Millenium-Bug führte). Diese Methoden erschienen nicht-Informatikern nicht zwingend logisch oder einsichtig, da sie speziell auf die Probleme und Randbedingungen der Datenverarbeitungssysteme bezogen waren, waren die Methoden schlecht auf andere Disziplinen übertragbar.

Der schnelle technische Fortschritt in der Informationstechnik, der damit verbundene Zuwachs, Ressourcen zur Problemlösung, sowie das Zusammenspiel zwischen der Entwicklung objektorientierter Programmierverfahren und entsprechender objektorientierter Programmiersprachen führte das Softwareengineering in den 90er Jahren in ihre Reifezeit. Die zur Verfügung stehende Entwurfsmethodik ist völlig von der zugrunde liegenden Implementationstechnik abstrahiert und kann damit als problemdominiert bezeichnet werden, wobei Ward und Mellor einschränken, dass auch heute noch Problemstellung implementierungsdominert bearbeitet werden.

Nach dem Zusammenschluss der drei großen Vordenker objektorientierter Entwurfstechniken Booch, Jacobson und Rumbaugh konvergierten deren Einzelentwicklungen in ein weitgehend einheitliches Konzept. Nach der Standardisierung durch die Object Management Group unter der Mitwirkung von 800 Firmen und Institutionen steht dazu noch seit 1998 mit der Unified Modeling Language UML zum ersten Mal ein umfangreicher, erprobter und weltweit anerkannter grafischer Sprachstandard für die objektorientierte Modellierung zur Verfügung, der über die Aufgabenstellungen des Software-Engineering hinaus auf andere Fachdisziplinen übertragbar sein kann.

In der OOM sind die Funktionen als Bestandteil der Methoden den Objekten fest zugeordnet; in der Systemdynamik sind die Funktionen Ausprägungen der Relationen **zwischen** den Objekten. In der OOM werden die Relationen zwischen den Objekten lediglich als Nachrichten, also als Ein- und Ausgangsgröße der Objekte verstanden, auf die die Objekte geeignet reagieren, bzw. deren Wert von den Objekten festgelegt wird. Veränderungen einer Nachricht auf dem Weg zwischen zwei Objekten geschehen nicht. Beiden Ansätzen gemeinsam ist, dass den Objekten spezifische Eigenschaften zugeordnet sind.

Grady Booch nennt zahlreiche Vorteile aus der Sicht der Informatik, die für eine Objektorientierte Programmierweise sprechen[99]: „Die objektorientierte Zerlegung schafft durch

---

[98] Mellor 1991.

[99] Booch 1994. Seite 34.

die Wiederverwendung gemeinsamer Mechanismen kleinere Systeme, wodurch erhebliche Einsparungen bezüglich der verwendeten Ausdrucksmittel erzielt werden. Objektorientierte Systeme sind außerdem leichter zu ändern und können dadurch einfacher weiterentwickelt werden, da ihr Design auf stabilen Zwischenformen beruht. Tatsächlich reduziert die objektorientierte Zerlegung das Risiko bei der Erstellung komplexer Software-Systeme erheblich, weil diese dahingehend entworfen werden, dass sie sich inkrementell aus kleineren Systemen, die wir bereits getestet haben, weiterentwickeln."

Der systemdynamische Ansatz vermeidet das Problem der Verantwortlichkeit für eine bestimmte Operation: keines der Objekte ist für den Ausgang einer Operation verantwortlich, da die Operation entlang der Relation zwischen den Objekten durchgeführt wird. Hierin besteht ein wesentlicher Unterschied zu den Konzepten der Objektorientierten Modellierung: Bei der OOM muss ein bestimmtes Objekt die Verantwortung für den Ausgang einer Operation übernehmen, was durch die Methode des verantwortungsorientierten Entwurfes (Responsibility-Driven Design RDD) gelöst worden ist.

4 Entwurf eines Konzeptes zur Objektorientierten Analyse und Modellbildung

Auf den nun folgenden Seiten möchte ich mein Konzept der Objektorientierten Analyse und Modellbildung vorstellen. Es ist auf der Grundlage meiner Studien der Analyse- und Modellbildungsverfahren in Technik, Naturwissenschaft und Informatik entstanden und soll, vor dem Hintergrund wahrgenommener Stärken und Schwächen der einzelnen Systeme, eine optimale Lösung insbesondere das Einsatzgebiet der Produktion von Lern- und Informationsmedien für die naturwissenschaftliche und technische Bildung darstellen. Es kann aber unabhängig davon jedem in der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung Tätigen als Anleitung dienen, sei es bei der Sachanalyse zur Vorbereitung einer Unterrichtsreihe, oder bei der Produktion von Modellen und Medien zusammen mit Schülern.

4.1 Visualisierung des Objektmodells mit dUML

Begleitend zur Analyse muss das Objektmodell mit einer Modellierungssprache geeignet visualisiert werden. Dies taucht nicht als expliziter Prozess-Schritt auf, da es als kontinuierlicher Vorgang im Wechselspiel der beteiligten Analysten, und zwischen den Analysten und dem Domänenexperten, geschieht.

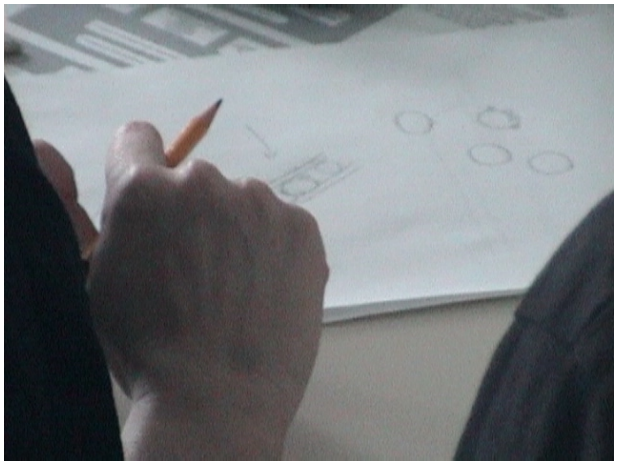


Abbildung 29: Die Konstruktion von UML-Diagrammen.
Sie kann alleine oder in Gruppen, mit spezieller Software oder von Hand, auf Papier, Tafel oder Clip-Board erfolgen. Wichtig ist die Verwendung des allgemeinverständlichen, normierten Symbolsatzes.

Hierzu können auf alle Elemente der didaktischen Unified Modeling Language dUML zurückgegriffen werden. Die dUML liefert für die Analyse einen Satz von übersichtlichen und unmissverständlichen Symbolen zur Modellierung von Objekten und Objektbeziehungen, von Objekteigenschaften, -methoden und -ereignissen. Dies ist insbesondere wichtig, um den Domänenexperten schnell und ohne großen Erklärungsbedarf in die Modell-Erstellung einbeziehen zu können.

Visualisierung der Methoden

Die Aufgaben der Objekte, also das, was die Objekte tun können sollen, werden in Anlehnung an die UML als Methoden bezeichnet. Didaktisches UML ist ein verantwortungsbasiertes Modellierungssystem (RDD, Responsibility Driven Design).

Das hat zur Konsequenz: Besitzt ein Objekt eine Methode, so hat das Objekt auch die Verantwortung für die korrekte und vollständige Ausführung dieser Tätigkeit im Gesamtsystem. Andere Objekte müssen Nachrichten an das Objekt senden, das über die Methode

verfügt, wenn die Methode zur Ausführung kommen soll. In Diagrammen wie dem Sequenzdiagramm wird das Senden einer Nachricht vom anfordernden (Client-)Objekt zum die Methode besitzenden (Server-)Objekt als ein Pfeil bezeichnet, der vom Client zum Server gerichtet ist.

Wenn die Aufgabe der angeforderten Methode ist, einen Wert an das Client-Objekt zurückzuliefern, so kehrt sich damit die Richtung des Informationsflusses, verglichen mit dem System der Allgemeinen Technologie nach Ropohl und verglichen mit der VDI 2222, um. Diese Darstellungsweise geht aber konform mit der Bezeichnungslogik von Petri-Netzen.

Methoden werden in Anlehnung an die UML klein geschrieben. Bei Begriffen, die aus mehreren Wörtern zusammengesetzt sind, werden die dem ersten Wort folgenden Worte groß geschrieben; auch dies konform mit der von Booch 1994 vorgeschlagenen[100] und in die UML übernommenen Notation.

Visualisierung der Ereignisse

Ereignisse werden in bisher vorhandenen Notationssprachen nicht explizit in Klassensymbolen dargestellt; weder die Entwurfsmethode nach Booch, noch nach Jacobson, noch die UML weist Ereignisse deutlich aus. Naturgemäß enthält auch die Methode der Strukturierten Analyse nach DeMarco und das Konzept der Allgemeinen Technologie bzw. der VDI 2222 keine Notation für Ereignisse, weil diese Konzepte keine Verbindung mit der Objektorientierten Programmierung besitzen.

Ereignisse sind aber nach meiner Auffassung dringend notwendig, um diskrete Verhaltensänderungen des Systems notieren zu können. Das System der allgemeinen Technologie ist beispielsweise lediglich in der Lage, den stationären Betrieb eines technischen System angemessen darzustellen; unter Hinzunahme der Speicherfunktion ist allenfalls ein diskontinuierlicher Betrieb darstellbar.

Viele technische Systeme kennen aber weitere Zustände, wie den Anfahr-, den Halt-, den Nothalt- und den Wartungsbetrieb. Der Übergang vom einen Zustand in den nächsten wird durch von außen an das System herantretende Ereignisse (Zündschlüssel wird vom Fahrer im Zündschloss umgedreht) oder durch im System selbst ausgelöste Ereignisse (Temperatursensor meldet Überhitzung eines Systembestandteiles) ausgelöst und bewirkt u. U. eine komplette Änderung des Systemverhaltens, inklusive der Wirkung und Bedeutung der Systemeigenschaften.

Bei einem physikalischen Experiment kann das Ereignis die Änderung von Systemparametern darstellen, den Beginn oder das Ende einer Experimentsequenz, den Start einer Messung oder eines Messwagens. Auch hier können die Ereignisse von außen, vielfach also durch den Experimentator, ausgelöst werden, oder von innerhalb des Systems kommen, also beispielsweise von einer Messeinrichtung getriggert werden.

---

[100] Booch 1994.

Symbolsystem dUML

Klassendiagramme

Klassen werden durch ein Rechteck dargestellt, das in 4 horizontale Abschnitte unterteilt wird. Die horizontalen Abschnitte sollen folgende Informationen aufnehmen:

1. Bezeichnung der Klasse, durch Fettdruck, Schriftgröße oder Zentrierung hervorgehoben, Anfangsbuchstabe groß.

2. Eigenschaften der Klasse. Ein Symbol vor der jeweiligen Eigenschaft zeigt an, ob die Eigenschaft von außen beeinflusst werden kann (+), ob sie von außen wahrgenommen, aber nicht verändert werden kann (🔒), oder ob sie von außen weder wahrnehmbar noch veränderbar ist und nur zu internen Zwecken verwendet wird (-).

3. Methoden der Klasse. Eine Methode beschreibt eine Tätigkeit, die von dem Objekt einer Klasse ausgeführt werden kann. Beschreibt man ein System mit der Sprache der Objekt-orientierten Modellierung, so wird klar, dass dem Bezeichner einer Methode der gleiche Stellenwert zukommt, den das Verb im normalen deutschen Satzbau hat. Während die Bezeichner für Eigenschaften groß geschrieben werden - **Größe, Gewicht, Farbe** -, sollten Methoden dagegen wenigstens im Anfangsbuchstaben klein geschrieben werden - **senden(), erfassen().** Kompositum aus mehreren Wörtern ist möglich; üblicherweise werden diese Wörter optisch voneinander getrennt, Eine Darstellung der Veröffentlichung (+,-, 🔒) ist nicht notwendig, da Methoden nicht veröffentlicht, sondern durch interne Behandlung eintretender Ereignisse gesteuert werden sollten. Der Methode ist in einer Klammer nachgestellt, auf welche Eigenschaft sie während der Ausführung lesend zugreift, d.h. von welchen Eigenschaften der Ablauf der Methode abhängig ist. Greift die Methode schreibend auf eine Eigenschaft zu, verändert sie also Eigenschaftswerte, so soll diese Tätigkeit Teil des Methodenbezeichners sein. Beispiel:
   geschwindigkeitÄndern(Zeit, Beschleunigung).

4. Ereignisse, die die Auslösung und den Ablauf von Methoden beeinflussen. In jeder grafischen oder textuellen Beschreibung werden Ereignisse durchgängig mit einem davor gestellten Blitz-Symbol (↯) hervorgehoben. Tritt ein Ereignis nicht nur einfach auf, sondern ist noch quantitativ beschreibbar, werden die genauen Werte in einer Klammer mit übergeben. Beispiel: beschleunigungGeändert(9.81)

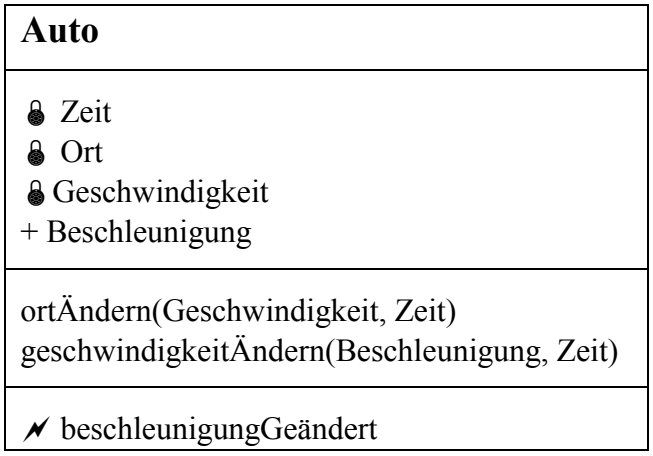


Abbildung 30: Beispiel für ein Klassendiagramm in der dUML

Zustände, Eigenschaften, Automaten

Im Systemdiagramm nach wurde bereits deutlich, dass ein System außer seinen Subsystemen, den Relationen der Subsystemen untereinander und seinen Ein- und Ausgangsgrößen (mit: S Stoff, E Energie, I Information gekennzeichnet) noch eine weitere wichtige **Eigenschaft** besitzt: den internen **Zustand** (engl.: state). Diese internen Zustände beschreiben, präziser ausgedrückt, den Zustand interner Stoff-, Energie- oder Informationsspeicher.

Diese internen Zustände sind vielfach von außen nicht ohne weiteres sichtbar, haben aber einen deutlichen Einfluss auf das Systemverhalten. So wird die Funktionsfähigkeit eines Mobiltelefons oder eines Notebooks in deutlicher Abhängigkeit vom internen Ladezustandes seines Akkus stehen. Ist der Tank eines Autos fast leer, ist damit der Gebrauchswert des Autos deutlich eingeschränkt, man sollte keine längeren Fahrten damit unternehmen und bei nächster Gelegenheit eine Tankstelle ansteuern. Vielfach bleiben die internen Zustände des Gerätes von einer Betriebsphase des Gerätes zur nächsten erhalten; wenn ein Auto mit leerem Tank abgestellt wird, wird sich daran bis zum nächsten Start des Motors nichts entscheidendes ändern.

In den oben genannten Beispielen können die Zustände ein Kontinuum von Werten zwischen „voll“ und „leer“ annehmen. Es gibt aber auch, vor allem bei der Betrachtung des Informationsumsatzes in technischen Systemen, eindeutige Zustände, die kein Kontinuum annehmen: Eine Anlage ist entweder „an“ oder „aus“, die Speicherstelle eines Digitalrechners entweder „voll“ oder „leer“. Aber: eine Waschmaschine kann in genau einer von mehreren Stufen eines Waschprogramms (Vorwäsche, Kochen, Spülen, Schleudern...) sein. Ein Autoradio kann auf eins von 20 vorprogrammierten Kanälen eingestellt sein; eine Ampel befindet sich zu jedem definierten Zeitpunkt ihrer Betriebszeit in einem von fünf Zuständen (Rot, rot-gelb, grün, gelb, gelb-dauerblinkend).

Solche Zustände werden als „diskrete Zustände“ bezeichnet, in englisch als „finite states“. Die zugehörigen technischen Systeme werden im englischen als „finite state machines“ bezeichnet, im deutschen als „Automaten“, genauer als „endliche Automaten“. Eine Waschmaschine ist ein sehr gutes Beispiel für einen Automaten (sie werden dann auch in der Werbung fachsprachlich korrekt als „Waschvollautomaten“ bezeichnet). Fast jeder Student

der technischen Informatik hat in seiner Grundlagenvorlesung als Standardbeispiel den „Zigarettenautomaten“ bzw. in letzter Zeit fast nur noch den „Getränkeautomaten“ analysiert.

Im Objektorientierten Modell zählen die Zustände zu den Eigenschaften der Objekte. Sie können **öffentliche Eigenschaften** sein, dann lassen sie sich von außen beobachten und verändern (z.B.: Stellung des Drehschalters einer Waschmaschine). Oder sie sind von außen nicht sichtbar und nur indirekt veränderbar (Münzinhalt der Wechselbox beim Getränkeautomaten); in dem Fall werden sie als **private Eigenschaften** bezeichnet.

Der Vorgang des Wechselns von einem Zustand in den nächsten wird als **Zustandsübergang** bezeichnet. Der Auslöser für das Geschehen des Übergangs kann:

1. ein externes Ereignis sein: Ein Kunde wirft Geld in den Getränkeautomaten ein und bringt den Automaten damit in den Zustand „Getränkeauswahl anzeigen“;

2. ein internes Ereignis sein: eine Ampel wechselt von „Grün“ auf „Gelb“, weil der interne Taktgeber der Ampel eine definierten Anzahl von Takten fortgeschritten ist;

3. von weiteren Eigenschaften abhängig sein: je nach Anzahl der eingeworfenen Münzen führt der Druck auf einen Auswahlknopf dazu, dass ein Getränk ausgeworfen wird, oder nur dazu, dass eine Fehlermeldung angezeigt wird.

Automaten, die sich wie in (3.) verhalten, werden als **Mealy-Automaten** bezeichnet. Demzufolge ist ein Getränkeautomat ein Mealy-Automat, eine einfache zeitgesteuerte Verkehrsampel ohne Druckknöpfe oder Messschleifen jedoch noch nicht.

Zustandsdiagramm

In Abhängigkeit von bestimmten Eigenschaften (Zustandsvariablen) und bestimmten Ereignissen, die in der Vergangenheit der Systemgeschichte eingetreten sein mögen, kann ein technisches System oder ein physikalischer Prozess sich in verschiedenen Zuständen befinden, die das von außen beobachtbare Antwortverhalten des Systems bestimmen können.

Vielfach kann sich der Zustand eines Systems durch eine oder mehrere quantitative Formeln beschreiben lassen. So ist die Klemmspannung U eines Kondensators direkt von der Ladungsmenge Q in dem Kondensator und seiner Kapazität C abhängig nach

$$U = \frac{Q}{C}$$

Wobei die verbleibende Ladungsmenge Q im Kondensator durchaus von einer komplizierten Vorgeschichte abhängig sein kann. Dennoch lässt sich das Verhalten des Systems grundsätzlich mit einer stetig differenzierbaren Funktion beschreiben.

Diese lässt sich in bewährter Art visualisieren, indem man den Zustand abhängiger und unabhängiger Variablen und ihre Abhängigkeit voneinander in einem kartesischen Koordinatensystem aufträgt.

Bestimmte Systeme kennen aber mehrere deutlich voneinander unterscheidbare, diskrete Zustände $Z_{1,2,3...n}$. Befindet sich das System im Zustand Z_1, kann seine Reaktion auf ein

bestimmtes Ereignis komplett anders ausfallen als es im Zustand Z_2. Das Verhalten des Objektes in den Zuständen Z_1 und Z_2 lässt sich dabei möglicherweise mit eigenständigen, in sich stetig differenzierbaren Funktionen beschreiben; der Übergang von einem Zustand in den anderen erfolgt aber vielfach diskontinuierlich; diese Übergänge sind dann auch vielfach nicht geschlossen beschreibbar.

Systeme mit diesem Verhalten werden nach Mealy „finite state Machines“[101] benannt.

Beispiele für state machines sind zum Beispiel zahlreiche Messgeräte. Ein handelsübliches Digital-Multimeter ist in der Lage, eine Vielzahl verschiedener Aufgaben zu erfüllen: das Messen von Strömen oder Spannungen, in um Größenordnungen verschiedenen Messbereichen, die Funktionsprüfung von Leitungen, Widerständen oder Halbleiter-Bauelementen.

Die Wahl der Funktion erfolgt dabei über äußere Bedienelemente, vielfach durch einen Drehwahlschalter. Damit wird sichtbar und plausibel dargestellt, dass das Gerät zu jedem Zeitpunkt nur eine bestimmte Funktion, also eine bestimmte Messart in einem konkreten Messbereich, erfüllen kann.

Abbildung 31: Beispiel für ein technisches System, das sich durch ein Zustandsdiagramm beschreiben lässt: LCD-Digital-Multimeter ME-32 der Firma Voltcraft mit Drehwahlschalter

In Abhängigkeit von diesem, von außen gut sichtbar gemachten, Betriebszustand des Gerätes ändern sich zahlreiche innere Zustände des Gerätes, etwa der Innenwiderstand zwischen den Messeingängen.

Eine Abbildung dieses Messgerätes auf ein Software-Objekt muss diesem Verhalten des Real-Objektes Rechnung tragen.

---

[101] Mellor 1991.

Ein anderes Beispiel für ein Messgerät als Zustandsmaschine ist das Geiger-Müller Zählrohr zur Detektion von hochenergetischer Strahlung. Hierbei ist das Verhalten des Gerätes im wesentlichen von der internen Zählrohrspannung abhängig.

- Ist die Zählrohrspannung gering, so können die bei der Ionisation durch z.B. Gammaquanten freigesetzten Elektronen nicht schnell genug durch das elektrische Feld abgezogen werden und relaxieren frühzeitig innerhalb des Gases oder durch Kontakt mit der Außenwand, ohne ein Zählereignis herbeizuführen. Dieser Zustand wird mit „Ladungssammlung“ bezeichnet.

- Bei einer Zählrohrspannung in der Größenordnung bis 200 V werden die durch die ionisierende Strahlung abgelösten Elektronen, und auch durch den gleichen Prozess entstehende Sekundärelektronen, schnell durch das elektrische Feld in Richtung des Zählrohrfadens beschleunigt. Diese Elektronen bewirken einen schwachen Zählimpuls, der durch eine geeignete Elektronik verstärkt werden muss. Man nennt diesen Bereich „Ionisationskammerbereich“, weil ein analoger Vorgang in Ionisationskammernachweisgeräten geschieht.

- Die häufigste Betriebsart des Geiger-Müller-Zählrohrs ist der „Proportionalbereich“. Je höher die Energie der Quanten ist, desto mehr Atome werden durch primär- und Sekundärprozesse ionisiert. Die freien Ladungsträger werden durch das innere Feld beschleunigt und können innerhalb ihrer freien Weglänge noch genug Energie sammeln, um in weitere Ionisierungen zu bewirken. Dies äußert sich in einer gut messbaren Ladungsmenge, die den Eingang der Verstärkerschaltung erreicht; die insgesamt messbare Ladungsmenge selbst ist proportional zur Zählrohrspannung - daher die Bezeichnung „Proportionalbereich“.

- Wird die Zählröhrspannung noch weiter erhöht, führt jedes Zählereignis durch die Vielzahl der ausgelösten und beschleunigten Elektronen zu einem Lawineneffekt. Der durch die freien Ladungsträger vermittelte Ladungstransport hält so lange an, wie unter diesen Umständen die Zählrohrspannung aufrecht erhalten werden kann. Dies führt zu einem messtechnisch sehr leicht erfassbaren Einbruch der Zählrohrspannung, aus der sich auf der anderen Seite aber keine Information über die Energie der Quanten mehr entnehmen lässt. Sowohl im Proportionalbereich als auch im Auslösebereich ist das Zählrohr nach einem Zählereignis durch die zahlreichen bereits vorhandenen freien Ladungsträger für einen gerätespezifischen Zeitraum nicht mehr sensitiv für weitere Ionisierung durch eintretende Strahlung. Im Zustandsdiagramm wird dies durch den Zustand der „Totzeit“ angedeutet. Ist die „gas recovery“ abgeschlossen, kehrt das Gerät wieder in den Vorzustand zurück.

- Bei einer weiteren Erhöhung der Zählrohrspannung können, vor allem durch den Spitzeneffekt in der Nähe des zentralen Drahtes im Zählrohr, so hohe Feldstärken auftreten das die Gasatome auch ohne Strahlungseinwirkung ionisiert werden. Dieser Spannungsbereich wird im Aktivitätsdiagramm als der Zustand „Gasentladungsbereich“ bezeichnet. Durch die permanente Ionisierung kann keine „gas recovery“ mehr geschehen, das Gerät wechselt beim Eintreten in den Gasentladungsbereich automatisch in den Zustand „Totzeit“ und verbleibt dort, was im dUML-Zustandsdiagramm durch den zyklischen Übergangspfeil angedeutet wird.

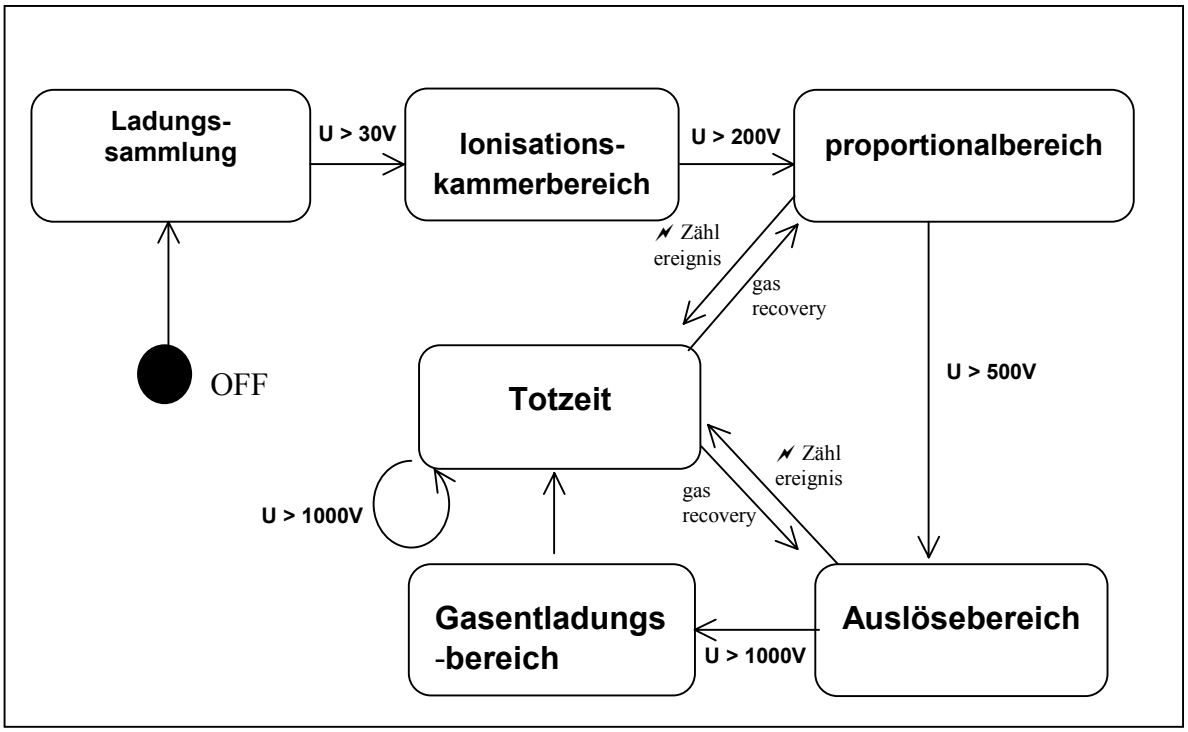


Abbildung 32: Das dUML-Aktivitätsdiagramm, dargestellt für das Objekt „Geiger-Müller-Zählrohr".

Für das Zeichnen von Zustandsdiagrammen gelten eine Reihe von Konventionen, die in der UML definiert worden sind.

- Die **Zustände** werden durch Rechtecke dargestellt, deren Ecken gerundet sind. Damit soll einer Verwechselung mit dem Klassensymbol vorgebeugt werden.

- Die Übergänge eines Systems von einem Zustand in den nächsten werden als gerichtete Pfeile (sog. „Übergangsvektoren") dargestellt.

- Die Ereignisse, die zum Zustandsübergang führen, werden an den korrespondierenden Pfeil gezeichnet.

- Jedes System muss sich vom Systemstart weg in einem definierten Zustand befinden. Um diesen Zustand zu definieren, zeichnet man den Start durch einen schwarzen gefüllten Kreis. Vom Startpunkt weg zeigt ein Übergangspfeil auf den ersten Zustand, den das System vom Start weg annimmt.

- Ebenso kann der Ausstieg aus dem Ablaufschema des Automaten durch einen schwarz ausgefüllten Kreis dargestellt werden, der von einem nicht ausgefüllten Kreis umrandet ist (sog. „Bullseye").

- Bestimmte Ereignisse führen nicht dazu, dass der Zustand gewechselt wird. Ist der Tank eines Autos leer, kann man auch durch wiederholtes Betätigen des Anlassers nicht den Motor starten. Dies kann angedeutet werden, indem man den Übergangsvektor wieder auf das Ereignis selbst zurückführt.

Aktivitätsdiagramm

Das Aktivitätsdiagramm beschreibt die zeitliche Abfolge von Aktivitäten, wie sie im System ausgeführt werden. In technischen Systemen folgen zahlreiche Aktivitäten einer festgelegten Reihenfolge; z.B. das Waschprogramm einer Waschmaschine. Zahlreiche Aktivitäten werden durch Ereignisse ausgelöst und gesteuert; zum Beispiel läuft das Notfallprogramm eines Kernkraftwerkes automatisch dann ab, wenn bestimmte Grenzwerte überschritten werden. Die genaue Art und Abfolge der Aktivitäten wird dann in Abhängigkeit von der Rückmeldung der Sensoren für Behälterdruck, Kühlwasserfluss, Temperatur usw. gesteuert.

Das Aktivitätsdiagramm entspricht weitgehend dem Flussdiagramm, das zur Zeit der prozeduralen Programmiertechnik eines der wichtigsten Hilfsmittel darstellte. Neu ist allerdings die Steuerung durch Ereignisse: In konventionellen Flussdiagrammen waren explizite Verzweigungsstellen vorgesehen, an denen im Programmablauf der Zustand gegebener Variablen geprüft wurde. In Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Prüfung verzweigte das Programm in die eine oder andere Abfolge von weiterführenden Aktivitäten, die wiederum auch die Änderung der Zustandsvariablen bewirken konnten. Dadurch konnte der Ablauf des Programms gesteuert werden: bei dem nächsten Erreichen der Programmverzweigung kann die gleiche Abfrage der Zustandsvariablen zu einem anderen Ergebnis führen, und die Verzweigung eine andere Abfolge von Aktivitäten bewirken.

Die Beschreibung eines Problems in Form einer sequentiellen Abfolge von Operationen wird als „von Neumannsches Denkschema“[102] bezeichnet, eine Bezeichnung, die sich vor allem auf die von Neumann-Architektur von informationsverarbeitenden Prozessoren zurückführen lässt.

Die Objektorientierte Programmierung zeichnet sich durch die Eigenschaft der Ereignissteuerung aus, das heißt: hier werden nicht mehr bestimmte Stellen des Ablaufes als Zeitpunkt einer Abfrage ausgewiesen. Das System führt statt dessen zu einem gegebenen Zeitpunkt eine Aktivität oder eine Sequenz von Aktivitäten aus. Ein eintretendes Ereignis - dies kann z.B. die Änderung einer Zustandsvariable sein, die vom System überwacht wird - führt dazu, dass das System aus seiner momentanen Aktivität in eine andere Aktivität, oder in eine neue Sequenz von Aktivitäten wechselt.

Beispielsweise würde der normale Ablauf des Steuerungsprogramms eines Kraftwerkes durch das Ereignis „Kühlwassertemperatur überschreitet kritischen Grenzwert“, zu jedem beliebigen Zeitpunkt dazu führen, dass die normale Aktivität zu Gunsten eines Notlaufprogramms beendet wird.

Die verschiedenen Aktivitäten eines Systems werden durch Rechtecke dargestellt, deren linke und rechte Kante insgesamt gerundet sind. Damit wird einer Verwechselung mit den Symbolen des Zustandsdiagramms vorgebeugt, bei dem lediglich die vier Ecken gerundet sind. Die Aktivität selbst wird in dem Aktivitätssymbol durch ein aussagekräftiges Stichwort bezeichnet.

---

[102] Ebd. Seite 26.

Die Vektorpfeile zwischen den Aktivitäten markieren die Übergänge von einer Aktivität des Systems zu einer anderen davon getrennten. Ein solcher Übergang kann

a) als Folge einer festgelegten Sequenz von Aktivitäten geschehen, das heißt, sobald eine Aktivität abgeschlossen wurde, beginnt das System automatisch mit der nächsten.

b) Teil einer bedingten Verzweigung sein: wie bei traditionellen Flussdiagrammen hängt es möglicherweise von dem Ergebnis der Prüfung einer Variablen ab, welche der möglichen Folgeaktivitäten aufgenommen werden soll

c) durch ein Ereignis ausgelöst worden sein; in diesem Fall soll das Ereignis, durch einen ↯ markiert, an den Übergangsvektor gezeichnet werden.

Im Gegensatz zum Kollaborationsdiagramm ist beim Zustandsdiagramm in der Regel nicht ersichtlich ist, von wo aus das Ereignis ausgelöst wird. Ebenso hängt bei der in b) beschriebenen bedingten Verzweigung die Auswahl der nächsten Aktivität möglicherweise auch von den Parametern des Ereignisses ab.

Deswegen wählt man zur Beschreibung sinnvollerweise eine erweiterte Notation, bestehend aus:

- dem Ereignis-Symbol ↯,

- dem Auslöser des Ereignisses, gefolgt von einem Unterstrich _ ,

- der Beschreibung des Ereignisses und

- den übergebenen Parametern in Klammern dahinter.

Beispiel für ein Ereignis, dass von einer der Benutzerschnittstellen eines Aufzugsystems (an der Außenseite der Aufzugtür) ausgelöst wird, wenn ein Benutzer den "Abwärts"-Knopf drückt:

```
↯Benutzerschnittstelle1_AufzugAngefordert(abwärts)
```

Dieser Ereignisbezeichner enthält alle Informationen die notwendig sind, um das Ereignis zu verarbeiten und eine entsprechende Aktivität auszulösen - beispielsweise, um einen Aufzugkorb in die Etage in Bewegung zu setzen, in der die Benutzerschnittstelle mit der Nummer 1 montiert ist - und auch um weitergehende Aktionen wie die Planung einer günstigen Fahrtreihenfolge anzustellen, die möglichst viele Passagiere mit dem Fahrtwunsch "abwärts" zusammenfasst.

Der Einstiegspunkt einer bedingten oder unbedingten Sequenz von Aktivitäten wird durch einen schwarzen, ausgefüllten Kreis mit der Aufschrift "Start" bezeichnet.

Sequenzdiagramm

Ein Hauptproblem bei der Darstellung technischer Systeme mit den Flussbildern der allgemeinen Technologie und der VDI 2222 (inkl. der Erweiterungen nach Arp) ist die mangelnde Darstellbarkeit dynamischer Vorgänge. Die Flussbilder bilden einen statischen Zustand ab, wie er in technischen Systemen lediglich in der Gleichgewichtsphase vorzufinden ist.

Dies führt bei Prozessgrafiken überall da zu Problemen, wo Prozesse mit explizitem Zeitverhalten abzubilden sind. Vor allem die zahlreichen technischen Chargenprozesse (Stahlherstellung, Legen von Betonfundamenten auf Baustellen, ...) führen hier schnell an die Grenzen der Darstellungsmethode, da die zu betrachtenden Stoffflüsse hier punktuell unterbrochen bzw. wie bei Betonfundamenten dauerhaft gespeichert werden.

Die VDI-Richtlinie 2222 in der Fassung von 1977 führt selbst den Versuch einer Darstellung der Funktionsgliederung und der verknüpften Funktionsstruktur des Chargenprozesses "Wäsche waschen" vor[103], der nach der Auffassung von Arp[104] gescheitert ist.

Bei der großen Vielzahl technischer Systeme, die auch aufgrund ihrer wachsenden Vielseitigkeit mehrere Tätigkeiten im zeitlichen Nacheinander durchführen können, und dabei noch auf die Koordination und dynamische Interaktion mit anderen Systemen angewiesen sind, erreicht eine statische Darstellung der Flussgrößen die prinzipielle Grenze ihrer Leistungsfähigkeit.

Zur Lösung dieses Problems bietet sich eine vereinfachte Form des Sequenzdiagramms an, wie es in der Unified Modeling Language definiert wird.

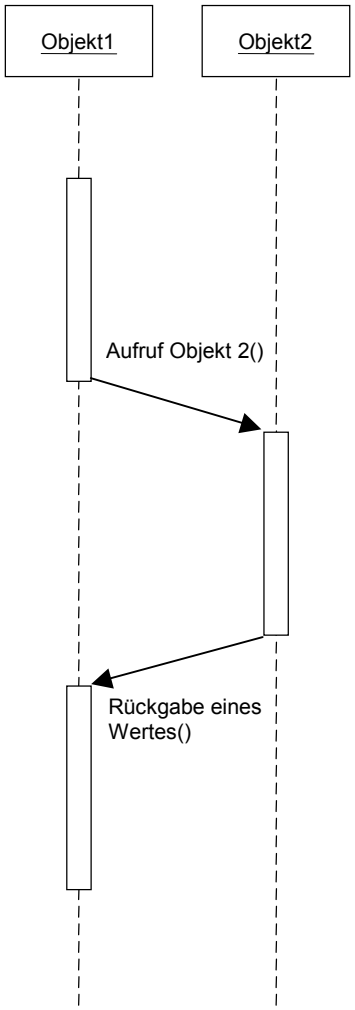


Abbildung 34: Sequenzdiagramm gemäß UML-Notation

[103] Verein deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Konstruktionsmethodik: Konstruieren technischer Produkte. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1977. Bild 3.03/3.04.

[104] Arp, H: Vorlesung zur allgemeinen Technologie (Didaktik der Technik IV). Gerhard-Mercator-Universität Duisburg.

Das Sequenzdiagramm besitzt 2 Koordinaten mit eigenständiger Bedeutung. Auf der waagerechten Achse werden nebeneinander die an der Aktivität beteiligten Klassen als Rechtecke gezeichnet, mit dem Klassenbezeichner innerhalb des Rechteckes. Eine erweiterte Darstellung mit den relevanten Eigenschaften und Methoden innerhalb des Rechteckes, also in Form eines Klassendiagramms, ist bei vorhandenem Platz möglich. Da die Objekte im Sequenzdiagramm wechselseitig auf ihre öffentlichen Eigenschaften und Methoden zurückgreifen, ist es natürlich wichtig, die von den Klassen jeweils definierten öffentlichen Eigenschaften und Methoden der Objekte mit der richtigen Bezeichnung zu kennen. Somit ist eine Darstellung der Klassendiagramme im Kopf des Sequenzdiagramms durchaus sinnvoll, wenn es nicht zu Platzproblemen führt.

Die y-Achse ist die Zeitachse des Sequenzdiagramms; dies sollte auch entsprechend an der Achse notiert werden. Die Zeitachse ist ordinal-, aber nicht intervallskaliert, da die einzelnen Aktivitäten möglicherweise zu große Laufzeitunterschiede haben, um im gleichen Diagramm noch übersichtlich dargestellt werden zu können.

Von den einzelnen Klassen laufen die sogenannten Lebenslinien als dünne gestrichelte Linien nach unten.

Ist das technische System in Betrieb, oder findet der physikalische Vorgang statt, haben wir es mit einer in der Zeit (im Sequenzdiagramm: nach unten) ablaufenden Interaktion verschiedener Objekte zu tun. Die Objekte, ggf. mit ihren Eigenschaften und Methoden, sind durch ihr Klassendiagramm im Kopf des Sequenzdiagramms beschrieben. Auf den Lebenslinien der Objekte kann nun gezeichnet werden, wann die Objekte im Betrieb aktiv sind.

Die Aktivierung eines Objektes wird angezeigt, indem im Moment der Aktivierung die gestrichelte Lebenslinie zu einer rechteckigen, breiteren, nicht ausgefüllten *Aktivierungslinie* wird.

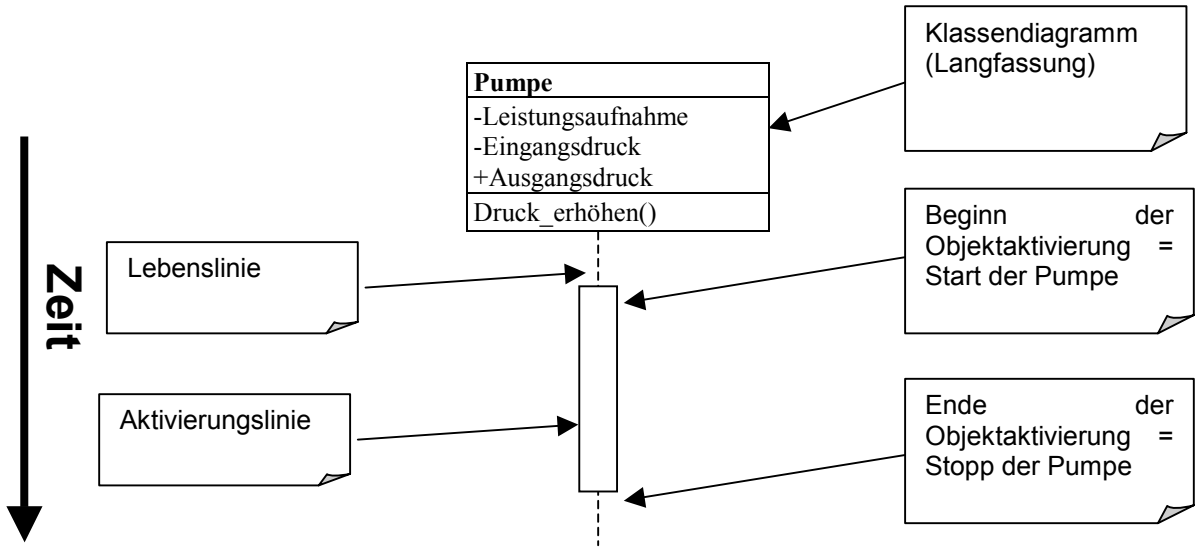
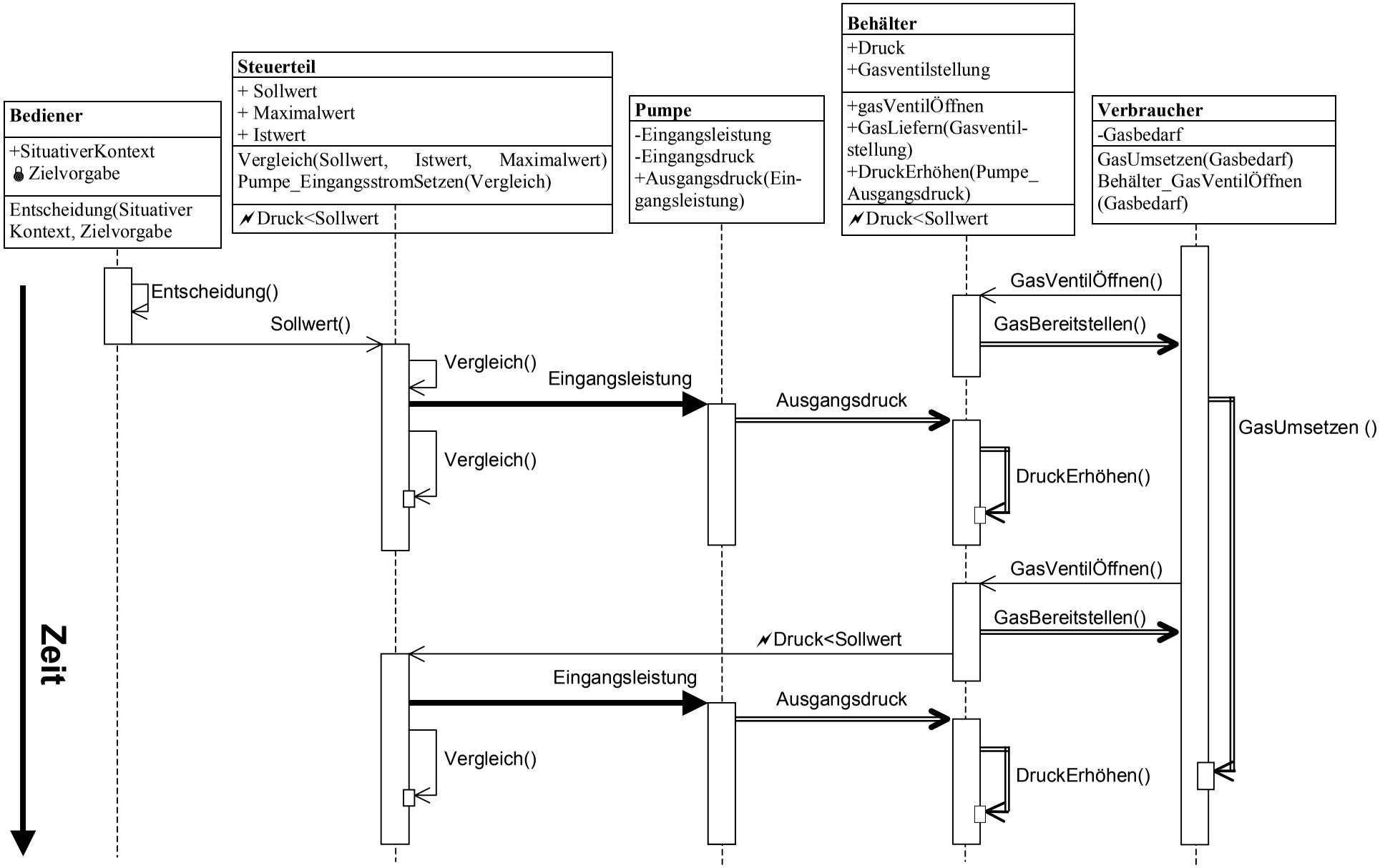


Abbildung 35: Sequenzdiagramm in dUML-Notation, mit dem Klassendiagramm in Langfassung und einem Pfeil, der die Zeitachse markiert.

Die Objekte beeinflussen sich während der Systemlaufzeit gegenseitig. Teilweise beeinflussen zwischen den Objekten ausgetauschte Stoffe, Energien oder Informationen den Ablauf der Aktivitäten; teilweise führt der Austausch dieser Flußgrößen erst dazu, dass ein Objekt aktiviert wird. Zum Beispiel kann die Pumpe von der Anlagensteuerung in Betrieb gesetzt werden; dies geschieht auf Grundlage der Information eines Druckwächters am Kessel. Der Druckwächter wiederum reagiert auf einen Druckverlust, der durch den Abfluss des gasförmigen Stoffes aus dem Behälter an das in der Kette nachgeordnete, in regellosen Abständen Gas verbrauchende System ausgelöst wird.


Bediener
+SituativerKontext
Zielvorgabe
Entscheidung(Situativer Kontext, Zielvorgabe
Steuerteil
+ Sollwert
+ Maximalwert
+ Istwert
Vergleich(Sollwert, Istwert, Maximalwert)
Pumpe_EingangsstromSetzen(Vergleich)
Druck<Sollwert
Pumpe
-Eingangsleistung
-Eingangsdruck
+Ausgangsdruck(Eingangsleistung)
Behälter
+Druck
+Gasventilstellung
+gasVentilÖffnen
+GasLiefern(Gasventilstellung)
+DruckErhöhen(Pumpe_Ausgangsdruck)
Druck<Sollwert
Verbraucher
-Gasbedarf
GasUmsetzen(Gasbedarf)
Behälter_GasVentilÖffnen(Gasbedarf)
Entscheidung()
Sollwert()
Vergleich()
Eingangsleistung
Ausgangsdruck
GasVentilÖffnen()
GasBereitstellen()
GasUmsetzen ()
Vergleich()
DruckErhöhen()
GasVentilÖffnen()
GasBereitstellen()
Druck<Sollwert
Eingangsleistung
Ausgangsdruck
Vergleich()
DruckErhöhen()
Zeit

Es wäre denkbar, wie im unten gezeigten Beispiel, den Beginn und das Ende der Rekursion durch die Veränderung des Ausgangsvektors zu markieren. Es wird aber durch Überlegung deutlich, dass diese Information redundant ist. Die UML markiert das Ende der Sequenz, auf die der Ausgangsvektor bezogen ist, durch das Ende der Aktivierungslinie. Im vorliegenden Beispiel kann man durch geeignete Wahl des Eigenschaftsbezeichners deutlich machen, dass die Eingangsleistung nur für die Dauer der Aktivierung der Pumpe ungleich null sein soll.

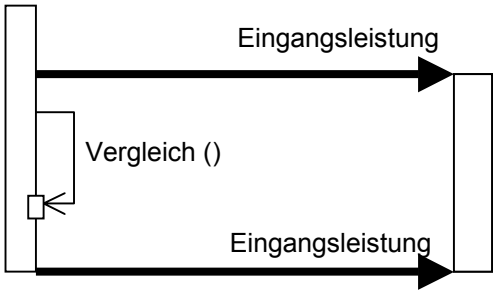


Abbildung 36: eine alternative Darstellungsweise, in der Beginn und Ende einer Rekursion durch Wiederholung des Ausgangsvektors markiert wird.

Dennoch kann es aus Gründen der besseren Verständlichkeit adäquat sein, diese Informationsredundanz einzubringen. Dies sollte die Entscheidung des Lehrers bzw. Projektleiters oder Referenten bleiben.

Für die in dieser Arbeit verwendeten Diagramme wird die redundanzarme Darstellung in Anlehnung an den UML-Standard beibehalten.

Vergleich: Weg-Schritt-Diagramm oder Funktionsdiagramm

Die Weg-Schritt-Diagramme[105] sind in der Technologie etablierte Darstellung der Sequenz, in der ein technischer Prozess abläuft. Der Prozess wird aus der Perspektive der beteiligten Sensoren und Aktoren dargestellt. Sie unterscheiden sich von der Perspektive der Objektorientierten Modellierung dahingehend, dass

- Objekte größere zusammenhängende Einheiten darstellen, deren Subsystemgrenze mehrere zusammenhängende Sensoren und Aktoren umfassen kann;
- Objekte diskrete und kontinuierliche Eigenschaften, auch gemischt, besitzen können, während Weg-Schritt-Diagramme wegen ihrer Nähe zu Zustandsdiagrammen lediglich diskrete Eigenschaften bezeichnen können;
- die zeitliche Abfolge in Prozessschritten geordnet ist.

[105] Koch, F.; Pyzalla, G.: Einführung in die Technologie. Köln, München: Stam Verlag. 8. Auflage 1989

Trennung der Modelle

Ward und Mellor sprechen sich dafür aus, bei verschiedenartigen Objektrelationen getrennte Modelle zu fertigen. Treten in einem System parallele Stoff-, Energie-, und Informationsflüsse auf, so wären getrennte Modelle zu fertigen, die jeweils nur den Fluss einer Größe visualisieren.

Ward und Mellor verdeutlichen dies am Flussplan eines Badezimmers. Dort sind verschiedene Einrichtungen miteinander zu verbinden, wobei die Flussgrößen Wasser und elektrische Energie sind. „Jedoch das Zeichnen beider Systeme in ein einzelnes Diagramm würde entweder zwei verschiedene Symbole für die zwei verschiedenen Verbindungsarten (Elektrizität und Wasser) oder die Kennzeichnung der Verbindung (d.h. der Kanten zwischen den Knoten des Graphen, Anm.) erfordern, um die Verbindungsart zu kennzeichnen. Das resultierende Diagramm würde für viele, verschiedene Verbindungen schwierig zu lesen sein. (...) Durch Darstellung der beiden Verbindungsarten in zwei Modellen wurde die gesamte visuelle Komplexität, die ein einzelnes Modell aufweisen würde, reduziert, und es wurde die Verwendung derselben Symbole für Wasser- und elektrische Verbindungen ermöglicht. (...) Letztendlich wurde die Integration der beiden Modelle durch Darstellung der Wasser und Elektrizität benötigenden Geräte in beiden Modellen erreicht. Diese kontrollierte Redundanz macht es leicht zu erkennen, wie die beiden Modelle zur Darstellung des gesamten Systems zusammenpassen.“

Dem gegenüber steht scheinbar der Ansatz der allgemeinen Technologie, der sich bemüht, ein technisches System mit Hilfe der Flüsse von Stoff, Energie und Information durch das System darzustellen.[106] Hier findet man in entsprechenden Diagrammen, z.B. in der von Arp[107] vorgeschlagenen Erweiterung der VDI 2222, eine überlagernde Betrachtung der Flussgrößen S, E, I, und deren Kennzeichnung durch entsprechende Symbole.

Dies hat deutliche Vorteile: bei der Zufuhr von an Kraftstoff und Sauerstoff gebundene Energie zu einem Fahrzeugmotor handelt es sich um einen Verbundstrom; als eine mögliche Beschreibung der Funktion eines Motors könnte die Trennung der Energie aus dem Stoffstrom sein. Diese Sichtweise lässt sich in einem System streng nach Flussgrößen getrennter Modelle so nicht darstellen.

---

[106] Wolffgramm, H.: Allgemeine Techniklehre: Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten; Einführung in die Denk- und Arbeitsweise einer allgemeinen Techniklehre. Hildesheim: Franzbecker, 1994. Seite 70ff.

[107] Arp 1991. Seiten 5-8.

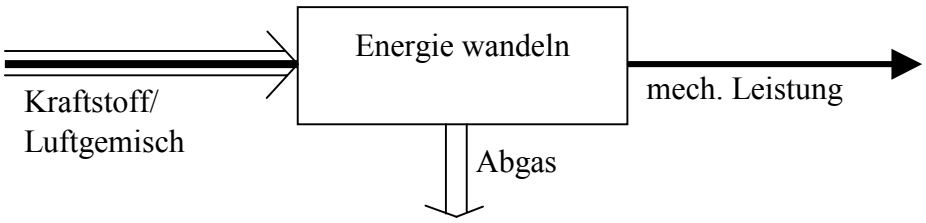


Abbildung 37: Verbundströme beim Objekt „Kraftfahrzeugmotor“ im System der allgemeinen Technologie

Auf der anderen Seite macht auch das System der Allgemeinen Technologie von der Möglichkeit Gebrauch, für das Verständnis nicht relevante Flüsse einfach auszublenden. So ist der Signalfluss in einem Computer nicht von seinem Energiefluss trennbar, da zur Übermittlung der Signale, zum Umladen der Kondensatoren und zum Wechseln der Spannungspegel immer noch geringe Ströme fließen müssen; sofern allerdings die logischen Funktionen und nicht das thermische Gleichgewicht des Computers Gegenstand der Untersuchung sind, wird man sich im Signalflussplan auf das Zeichnen des Informationsflusses beschränken.

Ich rate als Fazit dazu, die Frage nach der Trennung der Modelle nicht dogmatisch zu entscheiden. Das ideale Modell verhält sich meiner Auffassung nach flexibel, und erlaubt den Blick auf ein und das gleiche Modell mit verschiedenen Stufen der Komplexität. Im Idealfall ließen sich dann auch die verschiedenen Flussgrößen einzeln oder einander überlagert im gleichen Modell darstellen, wobei der Betrachter die gewünschte Ansicht zur Betrachtungszeit wechseln könnte.

Abweichung der dUML von der vollständigen UML

Die vollständige UML sieht vor, mehrere Klassen in einem Klassendiagramm zu zeichnen, und die Bezüge der Klassen zueinander als sogenannte Assoziationen darzustellen. Bei Assoziationen im Sinne der Objektorientierten Programmierung handelt es sich zum Beispiel um die Ableitung einer spezifischen Klasse von einer allgemeinen Klasse („Generalisierung“) oder um die Aggregation mehrerer Teile zu einer neuen Klasse. Die entstehenden Diagramme, die das System in erster Linie aus der Sicht des Informatikers beschreiben, haben jedoch verwirrende Ähnlichkeit mit den ebenfalls sehr bedeutsamen Kollaborationsdiagrammen, die die Zusammenarbeit der einzelnen Objekte eines Systems aus systemtheoretischer Sicht beschreiben.

Aus diesem Grund wird an dieser Stelle geraten, auf die Darstellung von Assoziationen in Klassendiagrammen bei der Arbeit mit Gruppen, die nicht mit UML vertraut sind, zu verzichten. Die Einführung und Nutzung von Assoziationen sind bei der programmiertechnischen Umsetzung früh genug angesetzt, wenn ihre Darstellung überhaupt notwendig sein sollte.

Kollaborationsdiagramm

Die Objekte eines Systems arbeiten zusammen, um die Funktion des Systems zu erfüllen. Beispiel sind zum Beispiel die verschiedenen Objekte, die zusammen das System einer Ampelsteuerung bilden. Alle diese Objekte haben bestimmte Eigenschaften und Methoden, mit

denen sie zum Gesamtsystemverhalten beitragen, und reagieren in definierter Art auf bestimmte Ereignissen.

Die Zusammenarbeit[108] zwischen den Objekten eines Systems beschreibt das **Kollaborationsdiagramm.** Hierbei werden die Objekte wiederum durch rechteckige Felder dargestellt, die mit dem Namen ihrer Klasse bezeichnet sind. Die Klassendiagramme mit ihren eingezeichneten Eigenschaften, Methoden und Ereignissen können direkt übernommen werden. Dies ist sinnvoll, um sich bei der Modellierung des komplexen Systems über die Eigenschaften und Methoden der Objekte bewusst zu bleiben.

Es ist jedoch genauso möglich, die Darstellung der Eigenschaften, Methoden und Ereignisse in den 3 unteren horizontalen Abschnitten des Klassendiagramms entfallen zu lassen. Es verbleibt dann ein Rechteck, das den Namen der Klasse enthält, zu der das Objekt gehört.

Kollaborationsdiagramme unter Wegfall der eingezeichneten Eigenschaften, Methoden und Ereignisse entsprechen den Flussbildern, die in der Symbolsprache der allgemeinen Technologie zur Darstellung von Symbolsystemen gewählt werden. Allerdings ist in der Symbolsprache der allgemeinen Technologie vorgesehen, den Namen des Subsystems (entspricht dem Bezeichner der Klasse in der dUML) ÜBER das Systemsymbol zu setzen, und statt dessen die Hauptfunktion (!) des Subsystems in das Symbol einzusetzen. Die dUML beschreibt **alle** im jeweiligen Kontext relevanten Funktionen des Objektes (und in Klammern nachgestellt die Eigenschaften, von denen die Funktionen abhängig sind) durch die Darstellung der Objektmethoden im dritten horizontalen Abschnitt des Klassendiagramms. In der ausführlichen Darstellung sind die Diagramme der dUML also wesentlich präziser als die Diagramme der AT. Sie lassen sich aber auch alternativ genauso kompakt darstellen wie die Flußdiagramme der AT.

---

[108] Arbeiten: lat. laborare; das Präfix „co“ deutet die Zusammenarbeit an. Man beachte, das im lateinischen streng zwischen den Begriffen „laborare“ und „operare“ unterschieden wird; beide lassen sich im deutschen zunächst nur mit dem Begriff „Arbeiten“ übersetzen. Das Verb „operare“ wird aber in lateinischen Texten wesentlich stärker mit selbstbestimmter Arbeit assoziiert als das „laborare“, das eher Sklavenarbeit und Funktionsträgerschaft zugeordnet wird. In der derzeit aktuellen Diskussionen über „collaborative tools“ z.B. für Gruppenarbeit sollte man sich dem semantischen Unterschied zwischen funktionsgebundener „Kollaboration“ zwischen Arbeitnehmern und ihrer selbstbestimmten „Cooperation“ stärker bewusst machen.

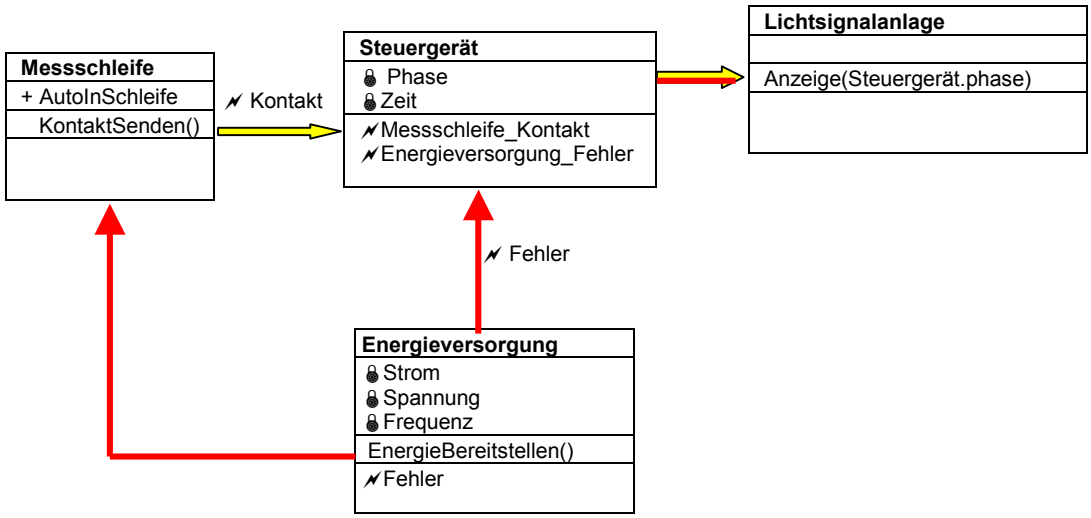
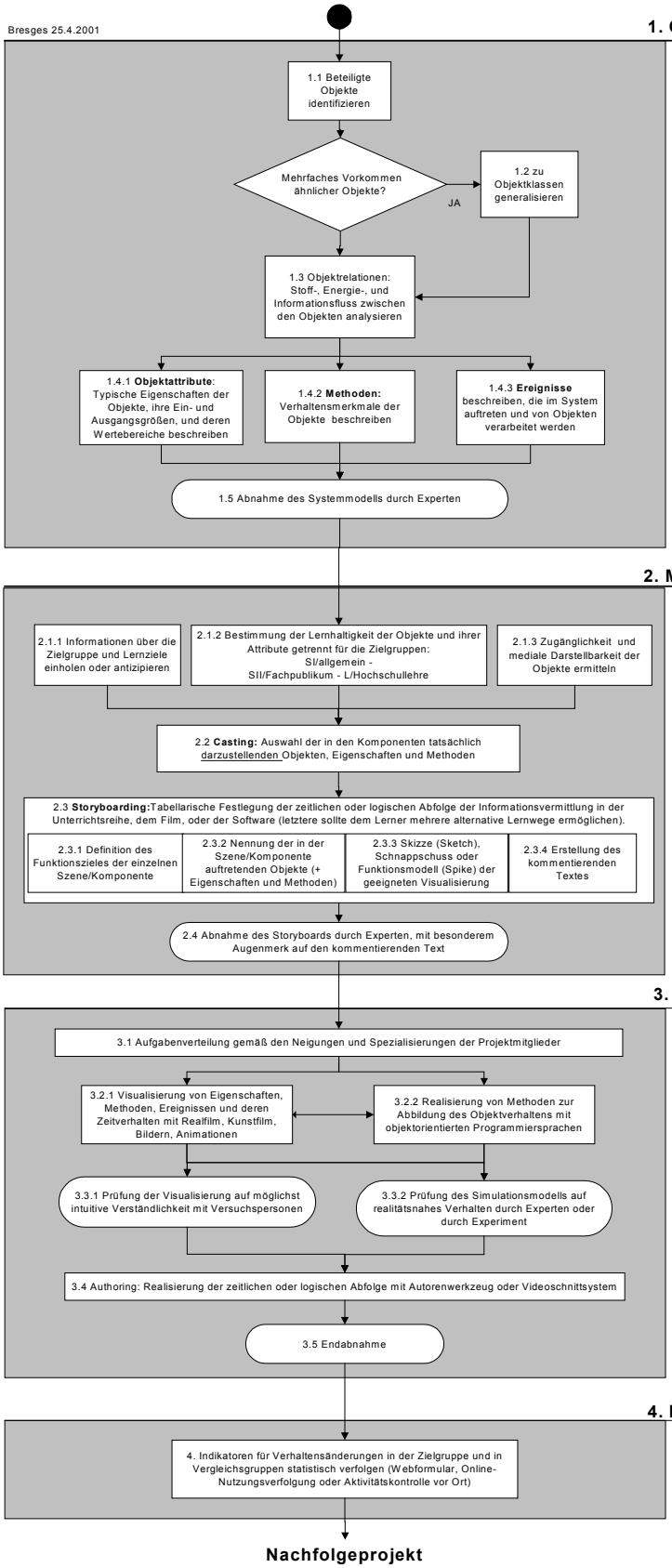


Abbildung 38: Beispiel eines Kollaborationsdiagrammes für das technische System „Ampelanlage“

4.2 Objektorientierte Systemanalyse

Das auf der folgenden Seite dargestellte Vorgehensmodell ist in 4 Hauptabschnitte gegliedert, die die Prozessschritte der objektorientierten Systemanalyse, der mediendidaktischen Konzeption, der Medien-Produktion, sowie des Einsatzes und der summativen Evaluation abdecken. Jeder der Abschnitte ist im Flussdiagramm in einzelne Unterabschnitte gegliedert. Die einzelnen Aufgaben der Abschnitte sind entsprechend nummeriert und werden auf den folgenden 29 Seiten einzeln erläutert. Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen mit dem Vorgehensmodell kann jede Aufgabe mit Beispielen aus einer praktischen Anwendung erläutert und belegt werden.


Bresges 25.4.2001
1. Objektorientierte Systemanalyse
1.1 Beteiligte Objekte identifizieren
Mehrfaches Vorkommen ähnlicher Objekte?
JA
1.2 zu Objektklassen generalisieren
1.3 Objektrelationen: Stoff-, Energie-, und Informationsfluss zwischen den Objekten analysieren
1.4.1 Objektattribute: Typische Eigenschaften der Objekte, ihre Ein- und Ausgangsgrößen, und deren Wertebereiche beschreiben
1.4.2 Methoden: Verhaltensmerkmale der Objekte beschreiben
1.4.3 Ereignisse beschreiben, die im System auftreten und von Objekten verarbeitet werden
1.5 Abnahme des Systemmodells durch Experten
a) Was sind die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems?
b) Welche Objekte agieren miteinander?
c) Durch welche Eigenschaften und Methoden werden die Objekte gekennzeichnet?
d) Wie unterscheiden sich diese Eigenschaften und Methoden von den vergleichbarer oder konkurrierender Systeme?
e)Welche Ereignisse treten im System auf?
f) Wer reagiert auf diese Ereignisse, und wie?
2. Mediendidaktische Konzeption
2.1.1 Informationen über die Zielgruppe und Lernziele einholen oder antizipieren
2.1.2 Bestimmung der Lernhaltigkeit der Objekte und ihrer Attribute getrennt für die Zielgruppen: SI/allgemein - SII/Fachpublikum - L/Hochschullehre
2.1.3 Zugänglichkeit und mediale Darstellbarkeit der Objekte ermitteln
2.2 Casting: Auswahl der in den Komponenten tatsächlich darzustellenden Objekten, Eigenschaften und Methoden
2.3 Storyboarding:Tabellarische Festlegung der zeitlichen oder logischen Abfolge der Informationsvermittlung in der Unterrichtsreihe, dem Film, oder der Software (letztere sollte dem Lerner mehrere alternative Lernwege ermöglichen).
2.3.1 Definition des Funktionszieles der einzelnen Szene/Komponente
2.3.2 Nennung der in der Szene/Komponente auftretenden Objekte (+ Eigenschaften und Methoden)
2.3.3 Skizze (Sketch), Schnappschuss oder Funktionsmodell (Spike) der geeigneten Visualisierung
2.3.4 Erstellung des kommentierenden Textes
2.4 Abnahme des Storyboards durch Experten, mit besonderem Augenmerk auf den kommentierenden Text
a) Was ist das Charakteristische, Besondere und Innovative des darzustellenden Konzeptes?
-> Zielgruppe "Kunde/Investor"
b) Welche physikalischen Prinzipien oder technischen Methoden werden hier exemplarisch genutzt?
-> Formallernziele für die Zielgruppe "Unterricht"
c) Werden Teile der Zielgruppe mit den ausgewählten Attributen, der Komplexität des Systems oder dem Abstraktionsgrad der Darstellung überfordert?
-> LOM-Klassierung (SI/SII/L) für eine Skalierung der Komplexität nutzen
3. Medien - Produktion
3.1 Aufgabenverteilung gemäß den Neigungen und Spezialisierungen der Projektmitglieder
3.2.1 Visualisierung von Eigenschaften, Methoden, Ereignissen und deren Zeitverhalten mit Realfilm, Kunstfilm, Bildern, Animationen
3.2.2 Realisierung von Methoden zur Abbildung des Objektverhaltens mit objektorientierten Programmiersprachen
3.3.1 Prüfung der Visualisierung auf möglichst intuitive Verständlichkeit mit Versuchspersonen
3.3.2 Prüfung des Simulationsmodells auf realitätsnahes Verhalten durch Experten oder durch Experiment
3.4 Authoring: Realisierung der zeitlichen oder logischen Abfolge mit Autorenwerkzeug oder Videoschnittsystem
3.5 Endabnahme
a) Muss dem Betrachter die interaktive Variation von Parametern gestattet werden, um den gesamten Prozess abbilden zu können?
-> Objektorientierte, Programmierwerkzeuge, z.B. Visual Basic, Macromedia Flash
b) Ist eine skalierbare Komplexität erforderlich?
-> LOM-Klassierung über Objektschnittstellen zur Maskierung einzelner Details nutzen. Der Lerner soll im Rahmen des selbstgesteuerten Lernens selbst an einer zentralen Stelle die Komplexität bestimmen können.
c) 3-Dimensionales Raumverhalten der Objekte? Vorgänge im nicht-Beobachtbaren?
-> 3D-Computergrafik, z.B. mit Cinema 4D XL
d) Realvideoaufnahmen stellen den lebensweltlichen Bezug her!
4. Einsatz und summative Evaluation
4. Indikatoren für Verhaltensänderungen in der Zielgruppe und in Vergleichsgruppen statistisch verfolgen (Webformular, Online-Nutzungsverfolgung oder Aktivitätskontrolle vor Ort)
a) Welche Änderungen im Verhalten sind bei der Zielgruppe nach dem Einsatz des Mediums zu beobachten?
b) In welchen Merkmalen differenzieren sich die Gruppenmitglieder von den Mitgliedern der Vergleichsgruppe?
Nachfolgeprojekt

Abschnitt 1: Objektorientierte Systemanalyse

Aufgabe 1.1: Beteiligte Objekte identifizieren

Die Identifizierung von und Zerlegung in Objekte ist der zentrale Aspekt der Objektorientierten Analyse, und unterscheidet die Objektorientierte Analyse von Vorgehensweisen wie z.B. der strukturierten Analyse (DeMarco) oder der Systemanalyse der allgemeinen Technologie, welche zentral nach Stoff-, Energie-, oder Informationsflüssen sucht.

Ein Domänenexperte, der ein ihm vertrautes technisches System oder einen physikalischen Prozess schildert, wird bei seinem Vortrag die das System konstituierenden Objekte nennen, vielfach auch zeigen können. Bei technischen Systemen handelt es sich in vielen Fällen um sichtbare Realobjekte (Kessel, Ventile, Filter, Walzen, Heiz- oder Kühlgeräte, Partikel, ...).

Abbildung 39: Vorträge der Domänenexperten
Man sollte den Domänenexperten zunächst die Gelegenheit geben, ihren Bereich im freiem Vortrag darzustellen. Das Notieren der Hauptwörter, die in diesem Vortrag benutzt werden, gibt erste Hinweise auf die darzustellenden Objekte des Gesamtsystems.

Ein einfacher Ansatz im Gespräch mit Domänenexperten ist, in den Sätzen seines Vortrages oder seiner Antworten nach Hauptwörtern zu suchen, die Objekte der Anlage oder des Prozesses benennen[109]. Dies kann analog bei der Analyse von Texten geschehen. Die Dokumentationen zahlreicher technischer Systeme enthalten Bauteillisten, oder bereits fertige System-diagramme, z.B. einen Signalflussplan[110]. An dieser Stelle muss daran erinnert werden, dass „Objekt“ und „System“ bzw. „Subsystem“ aufeinander abbildbare Begriffe sind; somit kann

---

[109] Abbot, R.J.: Program Design by informal english descriptions. Communications of the ACM 26 (1983) 882-894. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G.: Informatik Handbuch. München, Wien: Hanser, 2. Auflage 1999.

[110] Auf diese Art entstehen sog. Software-Emulatoren, mit denen auf modernen PC die für ältere Microcomputersysteme wie C64 oder Atari geschriebenen Programme lauffähig gemacht werden. Hierbei wird der Signalflussplan des alten („Legacy-“) Computersystems analysiert, und jeder einzelne Microchip des Legacysystems in ein Software-Objekt überführt, das sich genauso verhält und vom Programm aus genauso ansprechen lässt wie der ursprüngliche Chip.

ein Systemdiagramm sehr einfach in ein Objektmodell überführt werden. Dieses Modell muss dann noch um die Eigenschaften, Methoden und Ereignisse der einzelnen Objekte bereichert werden. Da die Objektorientierte Analyse ursprünglich für die Modellierung einer komplett funktionsfähigen Software-Repräsentation geschaffen wurde, ist sie den Bedürfnissen der Computerprogrammierung entsprechend in den Objektdetails wesentlich präziser in der Beschreibung als z.B. das System der allgemeinen Technologie.

Das Endprodukt der Objektorientierten Analyse, die die Schritte 1.1 bis 1.5 umfasst, ist der **Objektkatalog,** eine noch ungewichtete Sammlung aller Objekte mit ihren Eigenschaften, Methoden, Ereignissen und Relationen

Aufgabe 1.2: Zu Objektklassen generalisieren

Die Klassenbildung ist ein wesentlicher Bestandteil jeder Analyse und kann bereits im „Staatsmann“ von Plato nachvollzogen werden. Streng genommen wird bei der Objektorientierten Modellbildung aus jedem real beobachteten Objekt eine allgemeine Klasse generiert, aus der dann z.B. Software-Objekte abgeleitet werden können. Bei der Objektorientierten Analyse wird die Bildung von Klassen an der Stelle sinnvoll, an der offenbar mehrere, vielleicht sogar eine Vielzahl gleichartiger Objekte zu betrachten sind. Beim Mälzprozess z.B. die Vielzahl der Malz- und Gerstenkörner, beim Kunststoffsintern die einzelnen Partikel des Kunststoffpulvers, bei der Filtration die einzelnen Staubteilchen.

Abbildung 40: Staubpartikel sind konkrete Objekte mit individuell ausgeprägten Eigenschaften, die zu einer Klasse „Staub“ generalisiert werden können. Der hier gezeigte Staub wird der Prüfluft eines Filterprüfstandes gezielt zudosiert. Die Partikel müssen normierten Eigenschaften entsprechen.

Bei allen Objekten sind es die gleichen Eigenschaften, die für das Gesamtsystem von Interesse sind: z.B. die Partikelgröße, die Magnetisierbarkeit, die Energie (eines Gasteilchens). Die Werte dieser Eigenschaften streuen aber möglicherweise zwischen den einzelnen Objekten (Energieverteilung gemäß Boltzmann bei Gasteilchen bei einer bestimmten Temperatur T).

Bei einem Auftreten dieses Musters sollte der Analyst eine die einzelnen Objekte beschreibende Klasse definieren. Dies trägt wesentlich zur Reduktion der Komplexität bei; dennoch wird über die definierten Objekteigenschaften die Möglichkeit erhalten, die Objekte als unterscheidbare Entitäten zu erhalten.

Aufgabe 1.3: Objektrelationen: Stoff-, Energie-, und Informationsfluss zwischen den Objekten analysieren

Die Objektorientierte Modellbildung hat ihren Ursprung in der Informatik, wo sich der Austausch der Software-Objekte untereinander auf den Austausch von Informationen beschränkt. Die Schnittstellen eines solchen Software-Objektes nach außen werden also durch die Art und Weise definiert, wie das Objekt mit seiner Außenwelt Informationen austauscht.

Objekte, die innerhalb technischer Systeme oder naturwissenschaftlicher Prozesse zu finden sind, tauschen mit ihrer Außenwelt nicht nur Information, sondern auch Stoff und Energie aus. Dies machen sich auch die Analyseverfahren der allgemeinen Technologie zu nutze[111]. Bei der Objektorientierten Modellbildung wird die Betrachtung der Bilanzgrößen vor allem dazu genutzt, die Schnittstellen der Objekte mit ihrer Außenwelt zu definieren.

Darüber hinaus gibt die Analyse des Stoff-, Energie-, und Informationsflusses innerhalb eines Systems wertvolle Strukturierungshilfe für den Aufbau der späteren Gesamtsimulation, wie er im Abschnitt 2.3: „Storyboarding“ beschrieben wird. Vielfach sind in technischen Systemen bestimmte Flüsse ausgezeichnet (Energiefluss in einem thermischen Kraftwerk, Luftstrom in einem Filterprüfstand) und können als Leitlinie für den Aufbau einer Präsentation oder einer „guided tour“ dienen. Deswegen ist es sinnvoll, bereits die Analyse entlang solcher maßgeblicher Flusslinien zu gestalten.

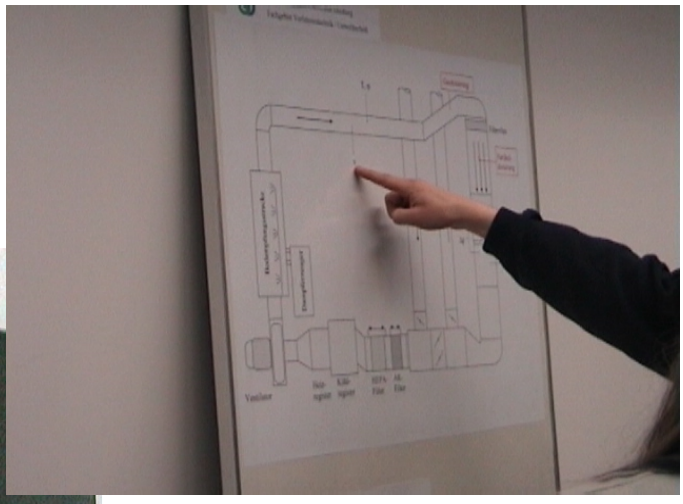


Abbildung 41: Die Analyse des Stoff-, Energie-, und Informationsflusses (oben) und die Erstellung eines Modells zusammen mit den Experten (rechts) liefert wertvolle Hinweise über den Aufbau des Systems und seine Abgrenzung zur Umwelt. Die Ergebnisse werden mit UML auf einer gemeinsamen Arbeitsfläche (Tafel, Metaplan, Clipboard - oben) visualisiert und im Protokoll festgehalten (ganz rechts).

Das Risiko, dabei nebenläufige Flüsse zu übersehen, wird wirkungsvoll durch das Prinzip der Objektorientierung minimiert. Denn die Objektorientierung erzwingt die möglichst vollständige Beschreibung der einzelnen Objekte und ihres Austausches mit der Umgebung. Damit erschließen sich automatisch auch die Nebenwege, auf denen die Objekte abseits des Hauptstromes miteinander Energie, Stoff oder Information austauschen.

[111] Vgl. Ropohl 1999.

Aufgabe 1.4.1: Objektattribute: Typische Eigenschaften der Objekte, ihre Ein- und Ausgangsgrößen, und deren Wertebereiche beschreiben.

Sind die Objekte, beziehungsweise die Objektklassen, identifiziert worden, so können die Eigenschaften benannt werden, die kennzeichnend für diese Objekte sind. Typisch für die Objektorientierte Modellbildung ist, dass jede Systemeigenschaft auf ein, und genau ein, Objekt abgebildet wird.

Beispielsweise kann eine verfahrenstechnische Anlage einen Kessel enthalten, der eine bestimmbare Menge Stoff bei einem bestimmbaren Druck und einer bestimmbaren Temperatur enthält. Dann sind Stoffmenge, Druck und Temperatur Eigenschaften des Kessels.

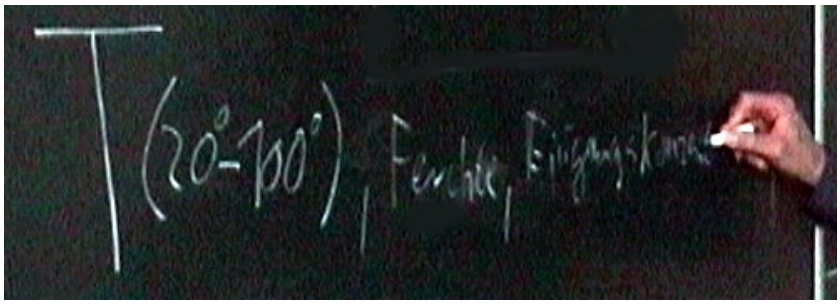


Abbildung 42: Wichtige Eigenschaften werden herausgearbeitet, ggf. auch mit ihren typischen Wertebereichen

Der Wertebereich dieser Eigenschaften kann ebenfalls eingeschränkt werden, um die maximale Füllmenge oder den maximalen Druck zu bestimmen.

Bei einem verbundenen System kann der Druck des Kessels bestimmend sein für den Druck des ganzen Verbundes; er kann also in gleicher Höhe in der abgehenden Rohrleitung gemessen. Dennoch bleibt nach den Konventionen der Objektorientierten Modellbildung die unabhängige Variable „Druck“ einem einzelnen Objekt zugeordnet, in unserem Beispiel dem Kessel.

Die anderen Objekte im Verbund können auf diese Eigenschaft des Kessels zurückgreifen, um ihren eigenen Druck geeignet zu bestimmen. Innerhalb einer Rohrleitung würde demnach der Kesseldruck, oder ein unter Einbeziehung von Rohrreibung und Druckminderern abgewandelter Kesseldruck herrschen. In der Objektorientierten Modellbildung können die anderen Objekte des Systems den Druck des Kessels-Objektes referenzieren. Hierzu wird die „Dot Notation“-Schreibweise verwandt: z.B.

$$\text{Leitungsdruck} = \text{Druckminderungsfaktor} \cdot \textbf{Kessel.Druck}$$

Hierdurch bleibt die Eigenschaft „Druck“ dem Objekt „Kessel“ fest zugeordnet.

Eine präzise Erfassung und gelungene Zuordnung der Objekteigenschaften an dieser Stelle erleichtert wesentlich die Arbeit der Mediengestaltung im Abschnitt 3.2.1. Hier müssen für die jeweiligen Systemzustände geeignete Visualisierungen gefunden werden. Die Zuordnung der Zustände zu Objekten erleichtert nach den bisherigen Erfahrungen die Arbeit erheblich, da dann einem definierten visuellen Objekt innerhalb des Mediums eine Eigenschaft auch

sichtbar zugeordnet werden kann. Z.B. kann sich der Kessel je nach Temperatur geeignet verfärben, oder sein Füllstand kann durch eine Säule angezeigt werden.

Aufgabe 1.4.2 Methoden: Verhaltensmerkmale der Objekte beschreiben

Viele (aber nicht alle) Objekte zeigen nach außen nicht nur ihre typischen Eigenschaften; sie zeigen auch ein Verhalten. Z.B. verändern sie ihren Ort, ihren Füllstand, oder ihre Leistungsfähigkeit mit der Zeit; oder, im Beispiel eines Kessels, verändern sie ihren Druck in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die gesammelten Fähigkeiten zur aktiven Veränderung werden als die **Methoden** des Objektes bezeichnet. In einem einfachen Merksatz formuliert: die Eigenschaften der Objekte definieren was sie sind; die Methoden der Objekte definieren, was sie tun. Mit Hilfe seiner Methoden kann ein Objekt den gesamten Systemzustand aktiv beeinflussen; im Beispiel des Kessels wirkt sich die Druckveränderung z.B. auch auf die mit dem Kessel verbundenen Objekte aus.

An dieser Stelle wird wiederum deutlich, wie sich die Objektorientierte Modellbildung auf das System der allgemeinen Technologie abbilden lässt: dort wurden die Methoden als „Funktionen“ bezeichnet und ebenfalls den einzelnen Subsystemen – die den Objekten in der Objektorientierten Modellbildung entsprechen – zugeordnet. Die Zuordnung von Eigenschaften geschah nicht.

Man sieht aber genauso das Neue an der Objektorientierten Modellbildung -nämlich die Kapselung von Funktionen und Daten, d.h. Methoden und Eigenschaften, in einem abgeschlossenen Objekt. Jedes Objekt im Kontext der Objektorientierten Modellbildung ist ein **abgeschlossenes** Gebilde im Sinne der Systemtheorie, da es seinen internen Zustand, seine Eigenschaften, und seine Aktivitäten selber verwaltet.

Aufgabe 1.4.3 Ereignisse beschreiben, die im System auftreten und von Objekten verarbeitet werden

In vielen technischen Systemen und naturwissenschaftlichen Prozessen kann es zum Auftreten von Ereignissen kommen, die den gesamten Systemzustand oder das Verhalten einzelner Objekte dramatisch ändern. Dies können normale Benutzereingaben sein, wie zum Beispiel das Drehen eines Zündschlüssels, oder im System selbst ausgelöste Eigenschaften, wie zum Beispiel eine Temperaturwarnung, die dazu führt, dass das System automatisch in einen Notlaufbetrieb übergeht.

Bei der Objektorientierten Modellbildung ist jede Form aktiven Verhaltens, also auch die Reaktion auf ein Ereignis, an mindestens ein definiertes Objekt gebunden. Das Gesamtsystem wechselt also nicht, abstrakt formuliert, in einen anderen Zustand; vielmehr ist ein oder sind mehrere konkrete Objekte zu identifizieren, die auf das Eintreten des beschriebenen Ereignisses warten, und auf das Eintreten des Ereignisses mit der Ausführung einer bestimmten und vordefinierten Methode reagieren.

Das heißt, zusätzlich zu den Eigenschaften und Methoden wollen wir den Objekten auch die Ereignisse fest zuordnen, auf die sie zu reagieren haben. Dies ist in der klassischen Objektorientierten Programmierung aus der Informatik in dieser Form **nicht** enthalten; und zwar mit

dem Hintergrund, dass ein Ereignis im Gegensatz zu einer Eigenschaft nicht genau einem und nur einem Objekt fest zuzuordnen ist. Es macht aber in Anbetracht der gestellten Aufgabe Sinn, den betroffenen Objekten die Ereignisse zuzuordnen, auf die sie reagieren können. Tatsächlich müssen bei der Objektorientierten Programmierung in den einzelnen Klassen die Ereignis-Behandlungsroutinen (Event Handler) von vorne herein vorgesehen werden; genauso wie die Subsysteme eines technischen Systems über Sensoren oder Eingänge verfügen, mit denen sie auf allgemeine Systemereignisse reagieren können (Not-aus Schalter im Physikraum, Notbremsanlage in der Eisenbahn, IRQ- und Resetleitung in einem Computersystem).

Aufgabe 1.5 Abnahme des Systemmodells durch Experten

Mit den weiteren Entwicklungsschritten kann erst begonnen werden, wenn sich Analysten und Domänenexperte darauf geeinigt haben, dass

- der Prozess hinreichend genau beschrieben worden ist;
- die Grenze des Gesamtsystems zu seiner Umwelt an der richtigen Stelle gezogen worden ist;
- die Abhängigkeiten, das Zeitverhalten, und die Flussrichtungen von Stoff, Energie und Information richtig beschrieben worden sind;
- die Objekte richtig benannt, und ihre Eigenschaften und Methoden richtig zugeordnet worden sind.

Abschnitt 2: Mediendidaktische Konzeption

Die folgenden Arbeitsschritte enthalten vor allem didaktische Aufgabenstellung; hier muss der Experte zunächst nicht zu Rate gezogen werden.

Aufgabe 2.1.1 Informationen über die Zielgruppe und Lernziele einholen oder antizipieren

Diese wichtige Frage richtet sich vor allem an den Auftraggeber. Dieser ist möglicherweise mit dem Domänenexperten identisch, oder er ist dessen Vorgesetzter. Wen soll das Medium informieren, in welcher Situation trifft der zu Informierende auf das Medium, und was soll bewirkt werden?

Gleichzeitig sollte immer die Anwendbarkeit für den Bereich Schule als „unsichtbarer Auftraggeber“ im Auge behalten werden. Hier kann man die Anforderung weitgehend durch das Studium der Lehrpläne erhalten; dazu müssen allerdings zunächst mögliche Einsatzbereiche in den verschiedenen Jahrgangsstufen lokalisiert werden.

Bei kommerziellen Produkten kann die Orientierung an den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schule in erster Näherung als brauchbare Richtlinie dienen, um den Gehalt und Anspruch des Mediums in Bezug auf bestimmte außerschulische Zielgruppen anzustreben. Als Faustregel hat sich in der bisherigen Praxis bewährt:

- Medien, die an ein allgemeines Publikum z.B. auf Öffentlichkeitsdarstellungen gerichtet sind, an den Richtlinien für die Sekundarstufe I zu orientieren. Diese Medien bieten sich vor allem für Ausstellungen in Kaufhäusern, für Tage der offenen Tür, und für ähnliche Führungen im Betrieb wie etwa Besuche von Schulen an.

- Medien, die an ein breites Fachpublikum gerichtet sind, an den Richtlinien für die Sekundarstufe II zu orientieren. Dazu zählen Medien die für Fachmessen und für den Launch innovativer Produkte erstellt werden. Bei diesen Medien kann ein gewisser technischer und naturwissenschaftlicher Bildungsgrad vorausgesetzt werden; allerdings sind die Entscheider nicht notwendigerweise mit dem aktuellen Stand der Forschung vertraut.

- Medien, die für ein reines Fachpublikum gerichtet sind, an universitären Maßstäben zu orientieren. Diese Medien lassen sich für die Hochschulbildung, für die Fachpräsentation auf Fachkongressen, und für innerbetriebliche Fortbildung einsetzen.

Aufgabe 2.1.2 Bestimmung der Lernhaltigkeit der Objekte und ihrer Attribute

Nachdem die Zielgruppe im Punkt 2.2.1 in Verbindung mit dem Auftraggeber definiert worden ist, werden jetzt die aus der Analyse und Modellbildung im Abschnitt 1 ergebenden Objekte einzeln mit den Anforderungen aus der Zielgruppenanalyse verglichen. Zahlreiche Objekte sind zwar zum Betrieb des gesamten Systems zwingend erforderlich, bringen dem Betrachter aber keine neue Information. Zum Beispiel ist sind zahlreiche Systeme auf die Versorgung mit einer Vielzahl verschiedener Gleich- und Wechselspannungen angewiesen, weshalb ein Netzteil zentraler Bestandteil dieser Systeme ist. Dennoch gibt die Betrachtung des Netzteils in der Regel keinen zusätzlichen Aufschluss über das Ziel oder die Funktion des Systems. Dasselbe gilt für Pumpen oder Ventilatoren zu Förderung eines Stoffflusses.

In manchen Fällen (z.B. Netzteil) wäre damit gedient, die gesamte Systemgrenze entsprechend zu bewegen, so dass das Netzteil nun außerhalb der Systemgrenze liegt. Vielfach sind die Objekte, wie die genannten Pumpen, aber zentraler Bestandteile vieler Kreisläufe und können nicht eliminiert werden.

Die Objektorientierte Modellbildung bietet die Möglichkeit eines besonders flexiblen Umgangs mit diesem Problem. Je nach Maßgabe der mediendidaktischen Überlegungen können Objekte aus dem System eliminiert, aus der Systemgrenze herausbewegt oder weiterhin als „black box“ betrachtet werden. Da die Objekte ja definitionsgemäß bereits gekapselt sind, also qua Entstehung den „black box“ Charakter tragen, ist hierzu kein zusätzlicher Aufwand notwendig. Es bedeutet lediglich, dass die dem Objekt zugeordneten Methoden und Eigenschaften entsprechend gekennzeichnet werden, so dass im späteren Visualisierungsprozess ihre Visualisierung entfallen kann.

Aufgabe 2.1.3 Zugänglichkeit und mediale Darstellbarkeit der Objekte ermitteln

Ein weiterer Filter für die darzustellenden Modellattribute ergibt sich aus ihrer Zugänglichkeit für den Visualisierungsprozess und aus ihrer medialen Darstellbarkeit. Sehr viele technische und naturwissenschaftliche Prozesse sind mit bloßem Auge nicht sichtbar, und daher auch nicht mit Realfilm-Aufnahmen darstellbar. Die Eigenschaftswerte können z.B. auf einer Größenskala stattfinden, die sich dem menschlichen Auge nicht erschließt (wie bei den meisten Objekten der Elektro- und Informationstechnik, der Atom- und Kernphysik). Das gleiche Problem kann auch auf die Zeitskala bezogen sein, d.h. die Vorgänge können zu schnell oder zu langsam stattfinden, um beobachtbar zu sein.

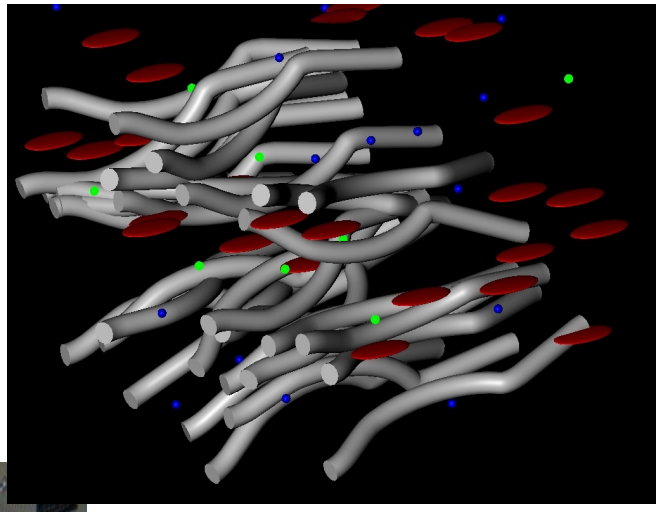


Abbildung 43: Zahlreiche technische Systeme, auch die sehr fortgeschrittenen, machen optisch „wenig her“ oder geben durch Betrachtung kaum Aufschluss über ihre Funktionsweise. Computeranimationen sind hier ein erstklassiges Mittel: sie sind sowohl dazu geeignet, die prinzipielle Funktion darzustellen, als auch dazu, die Faszination innovativer Technik zu vermitteln.

In den genannten Fällen sind technische Möglichkeiten denkbar, die die Beobachtung mit Realfilm dennoch möglich machen. Vergrößerungen oder Verkleinerungen können möglicherweise durch Einsatz einer geeigneten Optik erzielt werden; eine Stauchung oder Dehnung der Zeitskala ist durch „Zeitlupe“ oder „Zeitraffer“ denkbar.

Der Einsatz von Computergrafik (Computer Generated Imagery CGI) bietet noch wesentlich weiter gehende Möglichkeiten. Neben der Darstellung von Objekten mit ihren Eigenschaften und Methoden auf allen Zeit- und Größenskalen ist es insbesondere möglich, Abstraktionen zu visualisieren, die an kein konkret existierendendes Objekt gebunden sind. Die Visualisierung von reinen Modellvorstellungen wie dem Bohrschen Atommodell, der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen in der Quantenmechanik, oder dem p-n-Übergang in Halbleitern ist mit CGI möglich. Damit wird CGI generell zu einem Mittel der Wahl für die Visualisierung von Modellen.

Auf der anderen Seite hat CGI eine Reihe von Nachteilen, die einen bewussten Einsatz dieses Werkzeuges erfordern.

- Zunächst ist die Produktion von möglichst exakten Abbildungen existierender technischer Systeme deutlich aufwendiger als ein Abfilmen derselben. Bei unseren bisherigen Projekten rechneten wir erfolgreich mit der Faustregel, dass eine Minute CGI um den Faktor 4 teuerer ist als eine Minute Realfilm (dabei kann die Informationsdichte dieses Mediums allerdings auch wesentlich höher getrieben werden). CGI wird damit zu „wertvollem“ Material, und die Arbeitsstunden des Computergrafikers zu einer Ressource, die man besonders planvoll und umsichtig einsetzen muss.

- Darüber hinaus führt der Einsatz als Mittel zur Visualisierung abstrakter Modellvorstellung naturgemäß zu einer Darstellung, die vom Realobjekt entfremdet ist. Dies lässt sich mit erhöhtem Aufwand beim Design der CGI ausgleichen.

Allerdings ist genau an dieser Stelle der Punkt für ein sorgsames Abwägen und optimieren des Aufwandes erreicht.

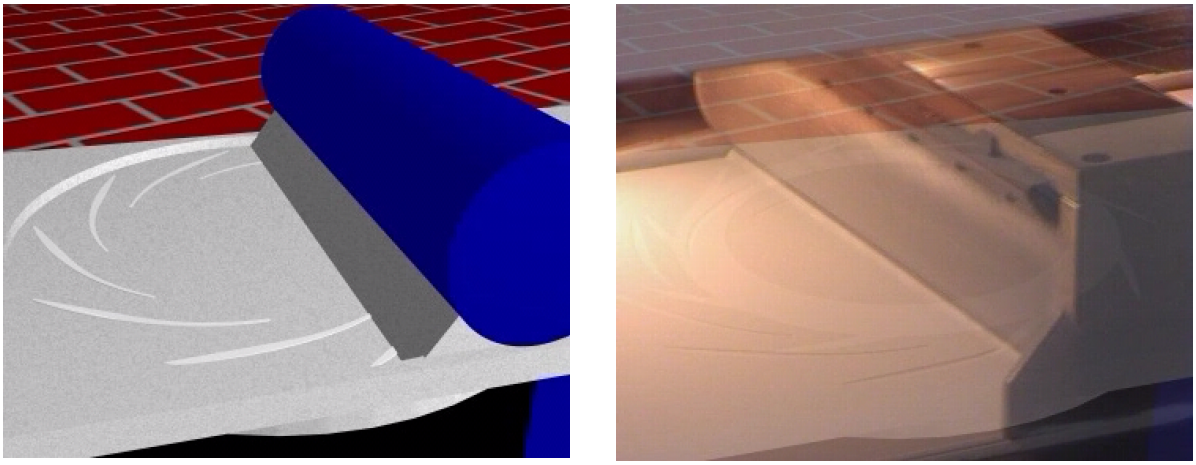


Abbildung 44: Die mit CGI visualisierte Bewegung der Walze im Modell wird nahtlos in die mit Realfilm aufgenommene Bewegung der Walze im realen technischen System überblendet. Durch einen Zoom out kann man nun die Einbaulage der Walze im Gesamtsystem visualisieren.

Der Vorteil von CGI liegt in der schnellen und bedarfsangemessenen Visualisierung von Abstraktionen, und genau dies sollte zur Schwerpunktanwendung gemacht werden. Dabei ist es kein Nachteil, wenn die Abstraktion durch die Verwendung von Primitiven bei der Modellierung und die Wahl einfacher Texturen und Farbgebungen als solche kenntlich gemacht wird. Der Realfilm ist in Verbindung mit der CGI sehr gut geeignet, um die Bezüge der abstrakt dargestellten Objekte zu den im realen technischen System vorhandenen, zu ihrer Einbaulage und ihrer realen Erscheinung, zu verdeutlichen. Auf diese Weise kann dem Betrachter durch das geschickte Wechselspiel zwischen abstrakter (CGI) und realer Darstellung der Zusammenhang zwischen Grundprinzip und technischer Realisierung vermittelt werden.

Aufgabe 2.2 Casting: Auswahl der in den Komponenten tatsächlich darzustellenden Objekten, Eigenschaften und Methoden

Die bisher dargestellten Vorarbeiten dienten dazu sicherzustellen, dass die Projektgruppe für den nun anstehenden Entscheidungsprozess über alle notwendigen Informationen verfügt. In der nun folgenden Sitzung wird systematisch für jedes einzelne Objekt des in den Schritten 1.1 bis 1.5 erstellten **Objektkataloges** entschieden

- ob es insgesamt Teil der Darstellung wird oder nicht;
- welche seiner Eigenschaften visualisiert werden sollen, und welche in diesem Zusammenhang keine Bedeutung haben;
- welche seiner Methoden im Einsatz gezeigt werden;
- ob die Reaktion des Objektes auf bestimmte Ereignisse gezeigt werden muss.

Grundlage der Entscheidung sind die in den 2.1.1 bis 2.1.3 zusammengetragenen Informationen über Zielgruppe und Lernziele, über die Lernhaltigkeit (also Zielverträglichkeit) der einzelnen Objekte, und die Abschätzung über den Aufwand bzw. die prinzipielle Möglichkeit der Visualisierung dieser Objekte, ihrer Eigenschaften und Methoden.

Der Schritt 2.2 wird hier explizit erwähnt, weil es im Rahmen von Ausbildungsprozessen sehr wichtig ist, dieser zentralen Entscheidungen eine geeignete Zeit und einen geeigneten Ort im Ablauf zuzuordnen. Erfahrene Projektgruppen werden die Entscheidung nicht mehr im Rahmen einer Klausursitzung fällen, sondern während der zurückliegenden Arbeitsschritte eine schrittweise Elimination von Objekten parallel zur Analyse und Modellbildung vornehmen.

Aufgabenkomplex 2.3 Storyboarding

Aufgabe 2.3.1 Definition des Funktionsziels der einzelnen Szene/Komponente

Bei der Erstellung von Informations- und Unterrichtsvideos ist eine behutsame und sorgfältige Zeitplanung dringend erforderlich. Das Ziel, das jede einzelne Szene verfolgt, muss präzise beschrieben sein: wird hier ein neues Objekt vorgestellt? Wird eine Methode des Objektes gezeigt? Wird eine typische Eigenschaft visualisiert?

Über das Storyboarding, d.h. die tabellarische Festlegung der zeitlichen oder logischen Abfolge der Informationsvermittlung in der Unterrichtsreihe, dem Film oder der Software, sind vor allem zum Gegenstand Film ganze filmwissenschaftliche Bibliotheken gefüllt worden[112]. Die

[112] Das Problem, Informationen in einer geeigneten zeitlichen Abfolge mit unterschiedlichen Graden der Aktivierung des Rezipienten zu vermitteln, ist darüber hinaus sehr verwandt mit den didaktisch-methodischen Entscheidungen, die Lehramtsanwärter in der zweiten Phase ihrer Ausbildung bei der Vorbereitung von Unterrichtsstunden und Unterrichtsreihen treffen müssen. Auch hier wird vielfach eine tabellarische Darstellung des geplanten Unterrichtsverlaufes gewählt, die die Ziele, Inhalten, Methoden und Medien der jeweiligen Unterrichts-

Dramaturgie von Filmen[113] folgt im allgemeinem einem der klassischen Griechischen Tragödie entlehnten Dreischritt aus Exposition oder „setup“ (Vorstellung der Protagonisten und ihrer Geschichte), Konfrontation (das zu überwindende Problem oder Hindernis wird dargestellt) und Auflösung (das Ergebnis, der Ausgang der Handlung). In groben Schritten kann man diese Struktur, die den europäischen Wahrnehmungsgewohnheiten entspricht, aufgreifen, wenn man den Rezipienten für die Benutzung der Lernsoftware oder die Betrachtung eines Videos zunächst einführen und situieren will, dann problemorientiert die eigentlichen Inhalte vermittelt und zum Schluss zu einem prüfbaren Ergebnis hinführt oder ein solches Ergebnis darstellt.

Dieser Dreischritt gibt aber nur einen äußerst groben Rahmen für den Aufbau eines Lehrfilmes oder eines Informationssystems vor. Durch die Objektorientierte Analyse und Modellbildung mit Hilfe von UML ergeben sich eine ganze Reihe weiterer Strukturierungsmöglichkeiten, auf die im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

Aufgabe 2.3.2 Nennung der in der Szene auftretenden Objekte

Bei einem guten Drehbuch werden die Akteure schrittweise mit ihren charakteristischen Eigenschaften eingeführt, um den Zuschauer nicht zu überfordern und an den Plot zu gewöhnen. Ähnlich behutsam sollte man bei der Planung einer Sequenz vorgehen, die die einzelnen Objekte eines komplexen Systems darstellt.

Die Objekte werden nacheinander in der Sequenz eingeführt, so dass Zeit bleibt, ihre charakteristischen Eigenschaften zu verstehen. Anders als bei einer Unterrichtsplanung besteht keine Möglichkeit, eine offensichtliche Überforderung des Rezipienten wahrzunehmen und mit einer Wiederholung oder einer Verzögerung des Tempos zu reagieren. Das Storyboard muss dafür sorgen, dass genügend Zeit zur Aufnahme und Verarbeitung von Informationen besteht, bevor darauf aufbauende Informationen geliefert werden. Gegebenfalls sollten also auch „entspannende“ Sequenzen in Form von ästhetischen Bildern der bereits gezeigten Objekte eingefügt werden. Diese Bilder enthalten dann keine neuen Informationen oder Objekte, aber tragen dazu bei, die Eigenschaften und Methoden der bisher gezeigten Objekte nachhaltig im Bewusstsein der Rezipienten zu verankern.

Für die Strukturierung der Informationsinhalte können die bei der Analyse erstellten UML-Diagramme wieder von Nutzen sein. Strukturierung kann in diesem Fall bedeuten

- den Zusammenhang der Objekte innerhalb der Struktur des Informationssystems zu beschreiben; dabei kann es sich z.B. um die Festlegung einer Link-Struktur handeln. Im Projekt „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung für die Lehrerausbildung (Physik und Technik) ist die endgültige Benutzeroberfläche eine Sitemap, die den Zusammenhang der einzelnen Komponenten in Form eines Petrinetzes beschreibt. Das Petrinetz wiederum ist mit Hilfe der UML modelliert worden.

---

abschnitte kurz darstellt und im Idealfall eine präzise und gut durchdachte zeitliche Abfolge des geplanten Unterrichtes ist.

[113] Field, S. et al: Drehbuchschreiben für Fernsehen und Film. In: La Roche, W. von: Reihe List Journalistische Praxis. München: List Verlag, 7. Auflage 2000.

- die lineare Abfolge des Auftauchens der Objekte in einem Videofilm zu beschreiben – also den „roten Faden“. Wie in Abschnitt 2.3.1 erwähnt wurde, kann auch hier die UML wertvolle Strukturierungshilfe leisten. Dies soll im folgenden mit Hilfe einiger Diagramme gezeigt werden:

Strukturierung mit Hilfe des Kollaborationsdiagramms

Kollaborationsdiagramme zeigen die einzelnen Klassen des Systems, mit ihren Eigenschaften und Methoden, und die Art und Weise wie sie zusammenarbeiten (=kollaborieren), um zur Erfüllung des Systemziels beizutragen.

Bei der Strukturierung eines Informationssystems zu dieser Anlage können die beteiligten Objekte in einer Reihenfolge vorgestellt werden, die sich an ihrer Ordnung im Kollaborationsdiagramm orientieren. Bei einem System zum Informationsumsatz wie diesem kann es Sinn machen, die Richtung des Informationsflusses zur Grundlage zu nehmen. Die Objekte werden dann in der Reihenfolge vorgestellt, in der die Informationen von den Objekten weitergeleitet werden.

Vielfach werden im Kollaborationsdiagramm zentrale Objekte sichtbar, die aufgrund ihrer Funktion im Gesamtsystem mit den meisten anderen Objekten in Verbindung stehen. In einem Kfz-Motor wäre es z.B. der Motorblock, der von seinen Zusatzaggregaten umgeben ist. Wenn keine andere Reihenfolge ausgezeichnet ist, kann man von diesem zentralen Objekt ausgehend nacheinander die notwendigen Zusatzaggregate erläutern. Bei einem interaktiven Informationssystem zum selbstgesteuerten Lernen würde dies z.B. durch eine Linkstruktur geschehen können, oder durch ein übersichtliches Schaubild der Anlage, in dem man einzelne Elemente durch einen Mausklick anwählen könnte. Das Schaubild der Anlage könnte wiederum auf Grundlage des Kollaborationsdiagramms entworfen werden.

Strukturierung mit Hilfe des Sequenzdiagramms

Im UML-Sequenzdiagramm werden alle an einer Sequenz beteiligten Objekte entlang der X-Achse aufgetragen. Die nach unten laufende Y-Achse bildet die Zeitachse. Führt ein Objekt eine Methode aus, wird dies durch eine Verbreiterung seiner „Lebenslinie“ gezeichnet. Der Austausch von Information - und in der dUML auch Stoff und Energie! - wird durch entsprechende Verbundpfeile zwischen den Lebenslinien gezeichnet.

Auf diese Weise wird deutlich, wie die Objekte während der Bearbeitung einer bestimmten Aufgabe miteinander zusammenarbeiten, und wie sie sich durch den Austausch von Stoff, Energie und Information gegenseitig aktivieren. Insbesondere wird das Zeitverhalten des Gesamtsystems deutlich, wenn man das Sequenzdiagramm in seinem zeitlichem Verlauf von (entlang der y-Achse von oben nach unten) liest.

Dieses Zeitverhalten kann ebenfalls als Grundlage für die zeitliche Reihung des Auftretens von Objekten genommen werden. Beispielsweise kann den Entwurf eines Storyboards für einen Videofilm sich an der Reihenfolge der Aktivierungen im Sequenzdiagramm orientieren. Die Objekte würden bei der Ausführung einer Aufgabe in der Reihenfolge im Bild erscheinen, in dem sie gemäß dem Sequenzdiagramm ihre Arbeit aufnehmen.

Strukturierung mit Hilfe des Zustandsdiagramms

Während das UML-Sequenzdiagramm das Zusammenspiel der Objekte in zeitlicher Reihenfolge darstellt, wird mit Hilfe des UML-Zustandsdiagramms vor allem der innere Zustand eines einzelnen Objektes visualisiert[114]. Im einem vorhergehenden Beispiel wurde dargestellt, wie die Vorgänge in einem Geiger-Müller-Zählrohr von der Zählrohrspannung abhängen. Da sich die Verhältnisse beim Überschreiten bestimmter Grenzspannung grundlegend ändern, kann man hier von einem „System abgeschlossener Zustände“ (finite-state-System) sprechen und das Zustandsdiagramm anwenden.

Ein Video oder eine Lernsoftware über Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohres würde nicht sehr viele Objekte vorstellen müssen; es müsste jedoch die Vorgänge, die bei verschiedenen Zuständen im Zählrohr auftreten, explizit erklären. Es bietet sich an, für die Beschreibung der Zustände eine Reihenfolge vorzusehen, die dem im Zustandsdiagramm beschriebenen Zusammenhang der Zustände entspricht.

[114] Allerdings kann auch der Zustand des Gesamtsystems, wie er sich aufgrund des Zustandes seiner einzelnen Objekte ergibt, in einem UML-Zustandsdiagramm zusammengefasst werden.

Aufgabe 2.3.3 Skizze, Schnappschuss oder Funktionsmodell der geeigneten Visualisierung

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte – dies gilt vor allem für Personen, die selbst mit Medien arbeiten, und denen man eine ausgewogene Nutzung der gestalterkennenden rechten Gehirnhälfte und der analytischen linken Gehirnhälfte unterstellen kann[115]. Deswegen sollte das Storyboard, das zur Instruktion der Gruppe über die geplante Vorgehensweise informieren soll, besonders ausgiebigen Gebrauch von Skizzen, Schnappschüssen oder Funktionsmodellen der geeigneten Visualisierungen machen.

Abbildung 45: „Spikes" (Funktionsmodelle) der visuellen Darstellung zentraler Objekte eigenen sich hervorragend als Grundlage für Gespräche mit Auftraggebern, Experten und zukünftigen Nutzern.

Mit Hilfe von Spikes kann das Produkt konkretisiert und sein Look-and-feel für alle verbindlich definiert werden. Erfahrungsgemäß sind die ersten Spikes stets die Auslöser anhaltender und auch tatsächlich produktiver Diskussionen.

Als Skizzen eignen sich rohe, aber möglichst perspektivische Zeichnungen eine Aufnahme oder einer zu erstellenden Computergrafik (CGI, Computer Generated Image). Sollen Realaufnahmen einer existierenden Anlage erstellt werden, sollten schon bei der Begehung

[115] McLuhan, M.; Powers, B.R.: The Global Village. Der Weg der Mediengesellschaft in das 21. Jahrhundert. Paderborn: Jungfermann, 1995. Seite 82.

zahlreiche Schnappschüsse aus verschiedenen Kamerawinkeln aufgenommen werden, die man dann leicht in ein elektronisches Storyboard integrieren kann (zu diesem Zweck eignen sich Digitalkameras sehr gut).

Besteht das zu erstellenden Informationssystem in Teilen oder im wesentlichen aus interaktiven grafischen Benutzerschnittstellen (GUI, Grafical User Interface), so sollte die Form der GUI an dieser Stelle definiert werden. Mit modernen Werkzeugen des Rapid Application Development (RAD) wie Visual Basic, Borland Jbuilder, Delphi oder Forte (Java) ist es bereits einfacher und schneller, die GUI mit den integrierten GUI-Buildern direkt zu erstellen, als eine Skizze von Hand zu machen.

Man kann nun auch bereits einen Schritt weiter gehen und rudimentäre Methoden implementieren, die der Oberfläche bereits einen Eindruck der zukünftigen Funktionalität hinzufügen. Diese Funktionsmodelle eignen sich als ideale Diskussionsgrundlage für ein Planungsgespräch mit Auftraggebern, Beta-Testern oder zukünftigen Nutzern des Systems. Diese Art des Projektmanagements, das zu einem hohen Anteil auf den Austausch, das verwerfen oder schrittweise verbessern von Funktionsmodellen beruht, wird als „Xtreme Programming“ bezeichnet[116]. Xtreme Programming ist eine relativ neue Art des Projektmanagements und der Programmentwicklung, der mit dem derzeitigen Trend zur komponentenorientierten Software-Entwicklung erst möglich wurde.

Zur Beachtung:

Moderne Methoden des Filmschnittes versuchen den Beobachter zu aktivieren und zu irritieren, indem sie mit seinen Sehgewohnheiten spielen und seine Wahrnehmungsfähigkeit herausfordern. Dies kann von Fall zu Fall auch bei Lern- und Informationsvideo Sinn machen, wenn es darum geht, Interesse zu wecken oder die veränderte Wahrnehmung eines evtl. altbekannten Objektes durch den Rezipienten hervor zu rufen.

In Phasen der Vermittlung komplexer Informationen ist dagegen besonders vorsichtig mit der beschränkten Aufnahmefähigkeit des Rezipienten umzugehen. Jede Ablenkung vom „roten Faden“ der Informationsvermittlung, von dem momentan im Zentrum der Aufmerksamkeit stehenden Objekt ist prinzipiell zu vermeiden. Damit rücken sehr alte Grundregeln der Filmgestaltung wieder in den Vordergrund. Diese sind darauf abgestimmt, der natürlichen menschlichen Wahrnehmung von Objektverhalten in Zeit und Raum so weit wie es das Medium erlaubt entgegen zu kommen und so die Wahrnehmungsfähigkeit des Rezipienten so weit wie möglich zu entlasten. Dies kommt dem Ziel der möglichsten kompakten Vermittlung komplexer Information effizient entgegen. Die Grundregeln der Kameraführung, der Kontinuität von filmischen Objekten und Abläufen, der Komposition des Bildaufbaus und des umsichtigern Filmschnittes umfassend zu beschreiben würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen; als einführende Grundlagenliteratur kann hier das reich bebilderte “The five

[116] Beck, K.: Extreme Programming Explained: Embrace Change. Reading, MA.: Addison Wesley, 1999

C's of Cinematography" von Joseph Mascelli[117] empfohlen werden, das seit mittlerweile über 35 Jahren angehende Filmemacher in ihrem Grundstudium begleitet.

Aufgabe 2.3.4 Erstellung des kommentierenden Textes

Der Text muss zeitlich sehr präzise mit dem Auftreten der Objekte synchronisiert werden. Nach unserer Erfahrung hat sich folgende Praxis bewährt:

- Die zu besprechenden Objekte werden kommentiert, der Text beschreibt ihre Eigenschaften und Methoden.

- Die Texte werden in etwa 1-2-zeilige Sätze zerlegt und auf einem Prompter eingeblendet (dieser lässt sich durch einen PC mit Microsoft Power Point, oder einfach mit einer Textverarbeitung bei stark vergrößerter Schrift realisieren).

- Der Sprecher liest jeden Satz mindestens 3-4 nacheinander laut, deutlich und nicht zu schnell vor. Die Sprache wird mit einem PC digital aufgezeichnet;

- In dem digitalen Mitschnitt werden die einzelnen Takes sortiert, und die besten und deutlichsten Aufnahmen ausgesucht. Bei 3-4 Wiederholungen eines routinierten Sprechers muss nur in seltenen Fällen noch nachträglich noch einmal eine Aufnahme wiederholt werden.

- Die deutlich gesprochenen Textpassagen geben aneinandergereiht die untere Schranke der Sequenz vor. Diese Annahme ist vor dem Hintergrund gerechtfertigt, dass ein Mensch sehr wohl parallel ein Objekt oder eine beschriebene Eigenschaft visuell erkennen und dabei den das gleiche Objekt beschreibenden Text verstehen kann. Gleichzeitig kann man annehmen, dass die gesprochene Sprache nach ihrer langen Evolution in der Geschwindigkeit ihrer Informationsvermittlung an das menschliche Auffassungsvermögen für seriell aufeinanderfolgende Informationseinheiten angepasst ist. Vor diesem Hintergrund gibt die Zeitdauer der gesprochenen Beschreibung ein gutes Maß dafür, wie lange das zu beschreibende Objekt im Bild zu sehen sein sollte.

Beim Authoring können diese Baustein-Sätze sehr flexibel verwendet werden, um beim Auftreten der Objekte die richtigen Kommentare zu liefern. Je vollständiger und eigenständiger die Sätze formuliert sind, desto flexibler kann beim endgültigen Authoring noch auf Änderungen der Reihenfolge eingegangen werden. Gegebenenfalls können in den Sätzen redundante Formulierungen eingebaut werden, wenn dadurch die Reihenfolge ihres Auftretens flexibel gehalten werden kann. Einfach aufgebaute Sätze und sprachliche Redundanz sind bei gesprochenen Sätzen kein Schaden für die Verständlichkeit.

---

[117] Mascelli, J. V.: The Five C's of Cinematography . Motion Picture Filming Techniques. Los Angeles: Silman-James Press, 1965.

Auszug aus dem Storyboard für: „Lasersintern als Beispiel für ein Verfahren des Rapid Prototyping“

No.	Real-Shot	Computergrafik	Darsteller	Nicht:	Text
1	CAD				Der Entwurf von neuen Produkten geschieht heute überall auf der Welt mit Hilfe von Computern
2	Prototyp		Hände, Form	Maschinen, Menschen	Für die Erprobung vor der Produktion möchte man aber möglichst schnell einen Prototypen des Teils in der Hand haben.
	Halle Maschinenbau, Zoom auf Maschine		Maschine, Dietger, Andreas		Im Fachgebiet Fertigungstechnik der Universität Duisburg wurde dazu eine "Rapid Prototyping" Anlage in Betrieb genommen.
3	Totale Maschine von Leiter				Diese Anlage bietet einen echten Zeitvorteil gegenüber bisherigen Modellbau-Methoden.
	Totale mit Bildschirm		Maschine, Steuerungsrechner, Andreas		Hier findet der Übergang des Bauteils von der Virtuellen in die Reale Welt statt
4	Detail Bauraum		Pulver, Spuren	Walze	Das Innere der Anlage ist mit einem feinem Kunststoffpulver gefüllt. Bei näherem Hinsehen erkennen wir seltsame Spuren, die wie von alleine in dem Pulver entstehen.
5	Totale Bauraum1		Pulver, Spuren	Walze	Die Zeitrafferaufnahme macht sichtbar, dass hier eine Schnittfläche des Bauteils auf dem Pulver entsteht.
6		Totale Bauraum2	Laser	Walze	Was das bloße Auge nicht sehen kann ist, das die Oberfläche des Pulvers durch einen Laser aufgeschmolzen wird.
7		Totale Bauraum3	Laser, Walze		Ähnlich wie beim zeilenweisen Aufbau eines Fernsehbildes ensteht so die Schnittfläche des Bauteils.
8		Totale Bauraum4			Ist eine Schnittfläche vollständig gesintert, wird der Bauraum um 0,1 mm abgesenkt und eine neue Pulverschicht aufgetragen.
9	Walze		Walze		
10	Walze Detail		Walze		
11		Zeitraffer	Pulver, Spuren	Walze, Laser	Auf diese Weise entsteht ein dreidimensionaler Kunststoffkörper - Schicht für Schicht.
12	Ästhetische Bilder1				
13	Ästhetische Bilder2				Trifft das Laserlicht auf das vorgeheizte, circa 170 Grad heisse Pulver, schmilzt der Kunststoff und verfestigt sich an dieser Stelle.
14	Ästhetische Bilder3		Perlenbildung		In der Spur des Lasers sieht man für kurze Zeit das Glitzern des geschmolzenen Kunststoffes
15	Ästhetische Bilder4				Das gezielte Verschmelzen des Pulvers mittels Laser gibt dem Verfahren seinen Namen: Selektives Lasersintern.
16	Ästhetische Bilder5				
17	Auspacken		Hände, Bürste, Form		Es dauert etwa einen Tag, bis dieses Modell eines Turbinenleitrades fertig gesintert ist.

Abschnitt 3 Medien-Produktion

Aufgabe 3.1 Aufgabenverteilung gemäß den Neigungen und Spezialisierungen der Projektmitglieder

Aufgrund der Vielzahl und Komplexität von Werkzeugen der modernen Medientechnik tritt naturgemäß eine Spezialisierung der Mitarbeiter statt. Während alle an einem Projekt beteiligten über grundlegende Kenntnisse der didaktisch-methodischen Aufbereitung von Informationen und der menschlichen Wahrnehmung verfügen sollten, finden sich schnell Personen, die Präferenzen zur Arbeit mit Werkzeugen der 3D-Modellierung (Cinema4D-XL, 3DStudioMAX, Maya, Lightwave...) oder der 2D-Modellierung (Macromedia Flash, Director, Dynamic HTML, Visual Basic...) entwickeln. Die Arbeit mit Digital Video Equipment (DV) und den Postproductionsystemen (Adobe Premiere, Discreet Edit, Purple, Eddy...) ist ein weiterer Bereich für Spezialisierungen.

Die Objektorientierte Analyse und Modellbildung ist auf diese Diversifizierung der Mitarbeiter abgestimmt. Nachdem vor dem Hintergrund der zu erfüllenden Funktionsziele die Objekte mit ihren darzustellenden Eigenschaften und Methoden sehr genau definiert sind, können sich die entsprechenden Spezialisten um die Visualisierung der Objekte kümmern. Aufgrund der Vorarbeiten haben die Entwickler Informationen mit genügend Tiefe und Präzision, um die Objekte zu visualisieren, ohne im Abschnitt 1 bei der Objektorientierten Analyse des Systems persönlich anwesend gewesen zu sein. Auf diese Weise wird auch die industrielle Produktion großer Lern- und Informationssysteme mit vielköpfigen Teams möglich.

Aufgabe 3.2.1 Visualisierung von Eigenschaften, Methoden, Ereignissen und deren Zeitverhalten

Die Objektorientierte Modellbildung hat die für die einzelnen Objekte charakteristischen Eigenschaften, Methoden und Ereignisse isoliert; die mediendidaktische Konzeption eine Bedeutungsreihenfolge erstellt.

Nun ist es Aufgabe der Medienentwickler, geeignete Visualisierungen zu finden. Neue Medien bieten hier einen enormen Fundus an Möglichkeiten zur Visualisierung von Raum- und Zeitverhalten, auf den hier allenfalls exemplarisch eingegangen werden kann.

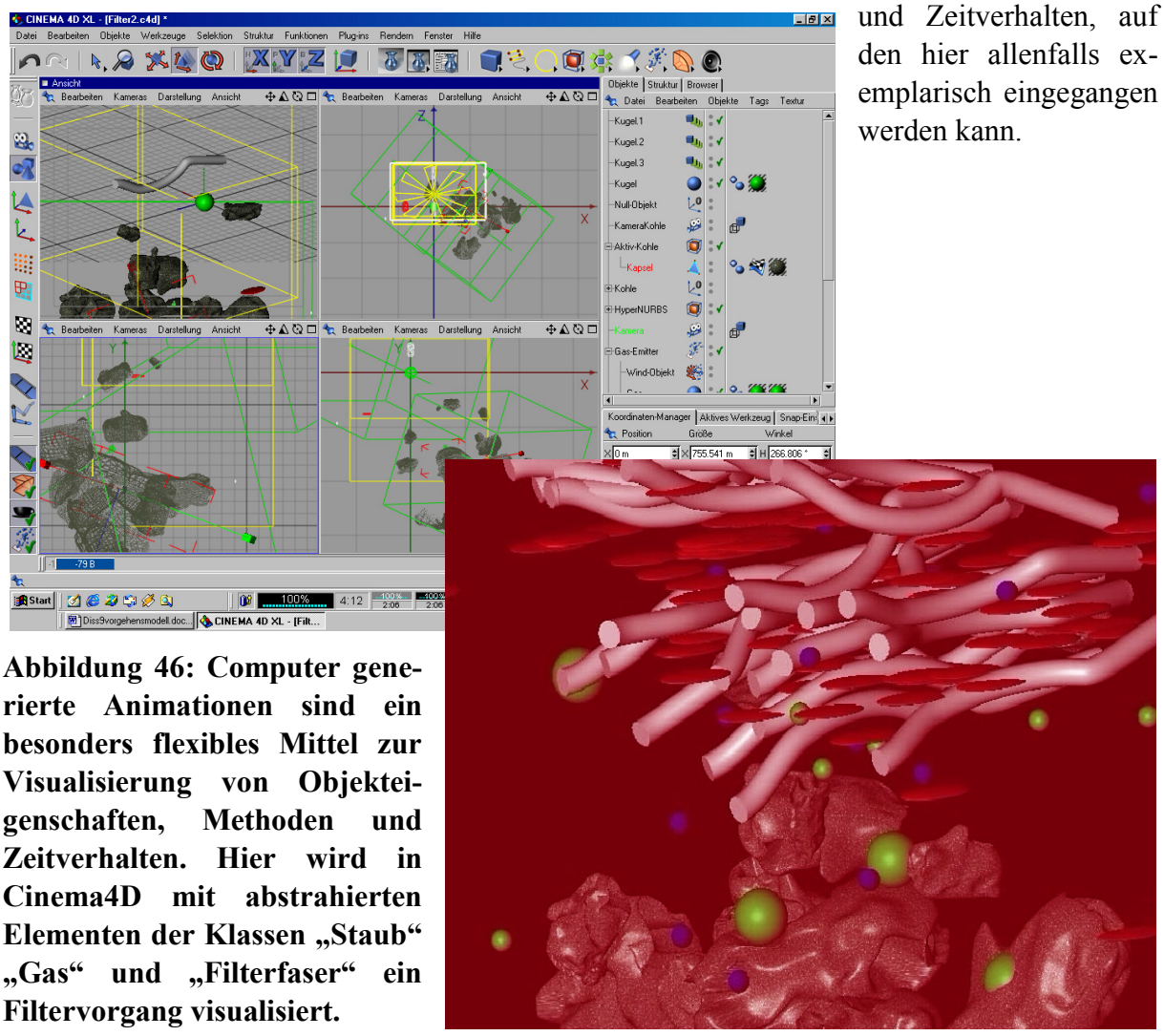


Abbildung 46: Computer generierte Animationen sind ein besonders flexibles Mittel zur Visualisierung von Objekteigenschaften, Methoden und Zeitverhalten. Hier wird in Cinema4D mit abstrahierten Elementen der Klassen „Staub“ „Gas“ und „Filterfaser“ ein Filtervorgang visualisiert. Die obere Abbildung links oben zeigt die Klassenelemente, die mit Hilfe der Funktion „Partikelsystem“ statistisch in ihren Eigenschaften variiert und vielfach kopiert werden. Die rechte Abbildung zeigt, wie mit der Gebräuchlichen Assoziation „Rot“=“Hitze“ eine Temperaturerhöhung visualisiert wird.

Zur Beachtung:

Aufgrund der völligen gestalterischen Freiheit des Computer Graphic Artist kann Kunstfilm eine wesentlich höhere Dichte an relevanter Information pro Zeiteinheit als ein Realfilm darstellen. Es ist prinzipiell möglich, alle relevanten Objekte eines technischen Systems in einer einzigen Szene zu visualisieren. Dies wäre im Realfilm auch bei geschicktem Composing der Szene kaum möglich – zum Beispiel, weil einige Systemkomponenten im technischen Ablauf nicht zeitgleich im Bild sein können, oder weil sie sich gegenseitig verdecken. CGI kann die Objekte des Systems rearrangieren, in einer anderen zeitlichen Reihenfolge darstellen, teilweise ausblenden oder Hindernisse transparent machen. Es wird nicht zu einer Frage der technischen Limitationen, sondern der vom Autor nach didaktisch-methodischen Gesichtspunkten festzulegenden zeitlichen Reihenfolge, wann welches Objekt zur Darstellung kommt. Die hohen Kosten der Erstellung von CGI, verbunden mit dem hohen Informationswert und der hohen Informationsdichte dieses Filmtyps macht es häufig sinnvoll, diese Aufnahmen mehrfach zu wiederholen. Dem kommt entgegen, dass bei einem einmal vorhandenen Modell inklusive zeitlichem Ablauf der Objektbewegungen sehr leicht Änderungen vorgenommen werden können. So kann z.B. der gleiche Ablauf mehrfach mit dem konsekutiven Ein- oder Ausblenden verschiedener Objekte dargestellt werden, oder ein mehrfacher Wechsel der virtuellen Kameraperspektive für einen verbesserten räumlichen Eindruck sorgen. Auch wenn das die Arbeit des Grafikers wirksam entlastet, ist dennoch mit den langen turn-around-Zeiten dieses Verfahrens zu kalkulieren, da das Rendern der Bilder je nach Qualität eine sehr lange Rechenzeit beansprucht.

Aufgabe 3.2.2 Realisierung von Methoden zur Abbildung des Objektverhaltens mit objektorientierten Programmiersprachen

An dieser Stelle erreicht die Objektorientierte Modellbildung die größte Nähe zu ihrer ursprünglichen Verwendung in der Informatik. Wie bereits mehrfach dargestellt, ist es Ziel der Objektorientierten Analyse, ein Objektorientiertes Modell des Systems zu erstellen, dass so präzise ist, dass es mit darauf abgestimmten Objektorientierten Programmiersprachen wie Visual Basic, Smalltalk, C++, Java und neuerdings Microsoft C# direkt in ein Software-Modell überführt werden kann.

Wird mit diesem Software-Modell eine grafische Benutzeroberfläche GUI verbunden, so ist eine lernhaltige Komponente entstanden, die in ein Informationssystem integriert werden kann. Dies ist das Grundkonzept des vom Kompetenznetzwerk Universitätsverbund MultiMedia NRW geförderten Modellversuches „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung für die Lehrerausbildung (Physik und Technik)“.

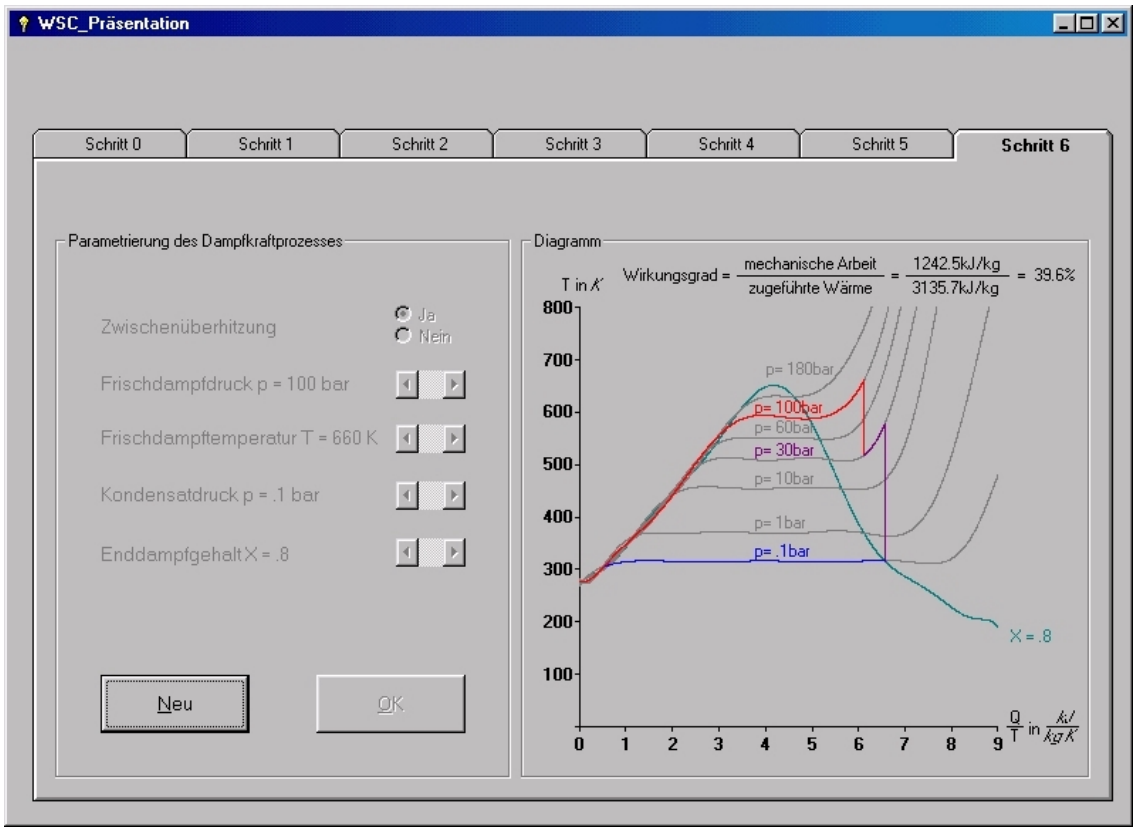


Abbildung 47: Eine Lernsoftwarekomponente ist ein Software-Modell, das in seinen Eigenschaften und Methoden dem nachgebildeten Objekt entspricht und mit einer grafischen Benutzeroberfläche verbunden ist, die Beobachtung und Manipulation der Eigenschaftswerte ermöglicht.

Aufgabe 3.3.1 Prüfung der Visualisierung auf möglichst intuitive Verständlichkeit mit Hilfe von Versuchspersonen

Ist eine Visualisierung nicht intuitiv verständlich, kommt es zwangsläufig zu Rückfragen. Können die Rückfragen nicht beantwortet werden – z.B. beim selbstgesteuerten Lernen – so kann die Bedeutung der Simulation nicht erschlossen werden. Genauso schlimm ist das Auftreten von Missverständnissen bei einer Fehldeutung der Visualisierung, oder das komplette Übersehen einer zentralen Information. Bei interaktiven Simulationen kann es vorkommen, dass die Interaktion nicht oder nicht vollständig vom Benutzer gesteuert werden kann, weil er Schaltflächen übersieht oder die Bedeutung von Schaltflächen falsch interpretiert. Aus diesem Grund ist die formative Evaluation mit Versuchspersonen zwingender Bestandteil der komponentenorientierten Lernsoftwareentwicklung.

Unter der formativen Evaluation versteht man jede Evaluation, deren Ergebnis unmittelbar in eine Verbesserung des konkreten Prüfgegenstandes mündet. Die formative Evaluation von Lernsoftwarekomponenten wird in der Universität Duisburg im Rahmen von Studentenworkshops (bei größeren Projekten), als Teil von Seminarveranstaltungen zum Einsatz neuer Medien im Unterricht, teilweise auch mit Hilfe von Schülern bei den schulpraktischen Studien der Lehramtsstudenten durchgeführt. Die Versuchspersonen sollten sich in jedem Fall aus der Zielgruppe des Mediums rekrutieren. Sie sollten die Software, das Video oder die Softwarekomponenten noch nicht kennen.

Im Verlauf der formativen Evaluation wird die Versuchsperson alleine oder in Gruppen mit maximal 3 Personen mit dem Medium konfrontiert. Ein Versuchsbetreuer - der Medienentwickler selber, oder eine von ihm eingewiesene Hilfskraft - setzt sich dazu, greift aber nach Möglichkeit nicht ein.

Die Versuchspersonen werden angewiesen, über ihre Wahrnehmungen und über die von ihnen geplanten Aktionen **laut** nachzudenken. Sie sollen beschreiben was sie sehen, wie sie es interpretieren, wie sie es noch interpretieren könnten, und was sie jetzt zu tun wünschen. „Interaktive Bedienbarkeit“ bedeutet, dass der Bediener bei der Bedienung der Software zum Ziel kommen soll, wenn er nur diesen Intuitiven Wünschen folgt. Wenn es aus bestimmten technischen oder planerischen Gründen nicht möglich ist, die Aktion von dort aus auszuführen, wo es intuitiv zu erwarten wäre, sollte wenigstens an dieser Stelle ein Vermerk zu finden sein[118].

Dass die Kontrolle der intuitiven Verständlichkeit und Bedienbarkeit durch den Softwareentwickler oder Videoproduzenten nicht durchgeführt werden kann, ist ein trivialer Sachverhalt. Aus diesem Grund ist das detaillierte Protokollieren der intuitiven Äußerungen der Versuchspersonen, ihrer Vorstellungen und Missverständnisse dringend notwendig. Diese

[118] Vergleich: Beim Entwurf von Programmen für das Betriebssystem Windows kann man einer Schaltfläche verschiedene Zustände zuweisen: neben sichtbar, nicht sichtbar und aktiviert auch den Zustand „Inaktiv“. Die Schaltfläche wird dann kontrastarm dargestellt, die Aufschrift wird grau und wenig auffällig. Dies zeigt einem Benutzer an, dass die Schaltfläche sehr wohl dort liegt wo er sie (intuitiv?) vermutet hat, dass aber aus bestimmten Gründen eine Ausführung zur Zeit nicht möglich ist.

Protokolle müssen im Anschluss mit den Entwicklern zusammen ausgewertet werden und in entsprechende Änderungen der Benutzerschnittstelle bzw. der Visualisierung münden.

Aufgabe 3.3.2 Prüfung des Simulationsmodells auf realitätsnahes Verhalten durch Experten, oder durch Experiment

Die Prüfung des realitätsnahen Verhaltens durch den Abgleich mit Experimenten wird ausführlich im Kapitel „Einsatz und empirische Evaluation Objektorientierter Modellbildung im Physikunterricht der Klasse 10“ besprochen. Dort wird am Beispiel des freien Falls dargestellt, wie eine Unterrichtsgruppe ein entsprechendes Modell erstellt, die Visualisierung vornimmt und durch den Vergleich mit dem Verhalten realer Objekte im Experiment Schrittweise die relevanten Eigenschaften abgleicht, bis eine zufriedenstellende Übereinstimmung des Objektverhaltens mit der Realität festgestellt werden kann.

Analog kann auch bei anderen technischen Systemen oder physikalischen Prozessen eine experimentelle Messreihe durchgeführt werden, um das Verhalten des Modells mit dem Verhalten des realen Systems zu vergleichen. Dieses könnte sogar aufgezeichnet und dem Informationssystem zu Dokumentationszwecken beigefügt werden.

Zu Ausbildungszwecken kann es besonders interessant sein, innerhalb des Informationssystems eigene Schnittstellen zu externen Messsystemen vorzusehen. Im Rahmen des vom Kompetenznetzwerk Universitätsverbund MultiMedia NRW geförderten Modellversuches „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung für die Lehrerausbildung (Physik und Technik)“ wurden eigene Komponenten für die Integration von externer Hardware der Firma Modul Bus zum Messen, Steuern und Regeln entwickelt. Damit ist die Konstruktion von Laborversuchen zu Ausbildungszwecken möglich, bei denen ohne Wechsel des Mediums die Informationssammlung, die Versuchsvorbereitung, die Durchführung und der Vergleich mit dem Modell möglich ist.

Bei komplexen technischen Systemen ist es vielfach nicht möglich, das Systemverhalten an einzelnen messbaren Größen zu prüfen. Hier ist das Urteil des Experten über das erwartungsgemäße Verhalten des Systems besonders wichtig[119].

[119] Ein bekanntes kommerzielles Beispiel ist die Entwicklung von Flugsimulatoren, die von Piloten erprobt und mit ihnen weiterentwickelt werden, die mit dem zu modellierenden Flugzeugtyp sehr gut vertraut sind.

Aufgabe 3.4 Authoring: Realisierung der zeitlichen oder logischen Abfolge mit Autorenwerkzeugen oder Videoschnittsystemen

Auf die planerischen Schritte zur Strukturierung des Informationssystems und die Festlegung der zeitlichen oder logischen Abfolge der Informationsvermittlung ist im Abschnitt 2.3: „Storyboarding“ eingegangen worden. An dieser Stelle sollen nur kurz die medientechnischen Werkzeuge zur Realisierung der Abfolge vorgestellt werden.

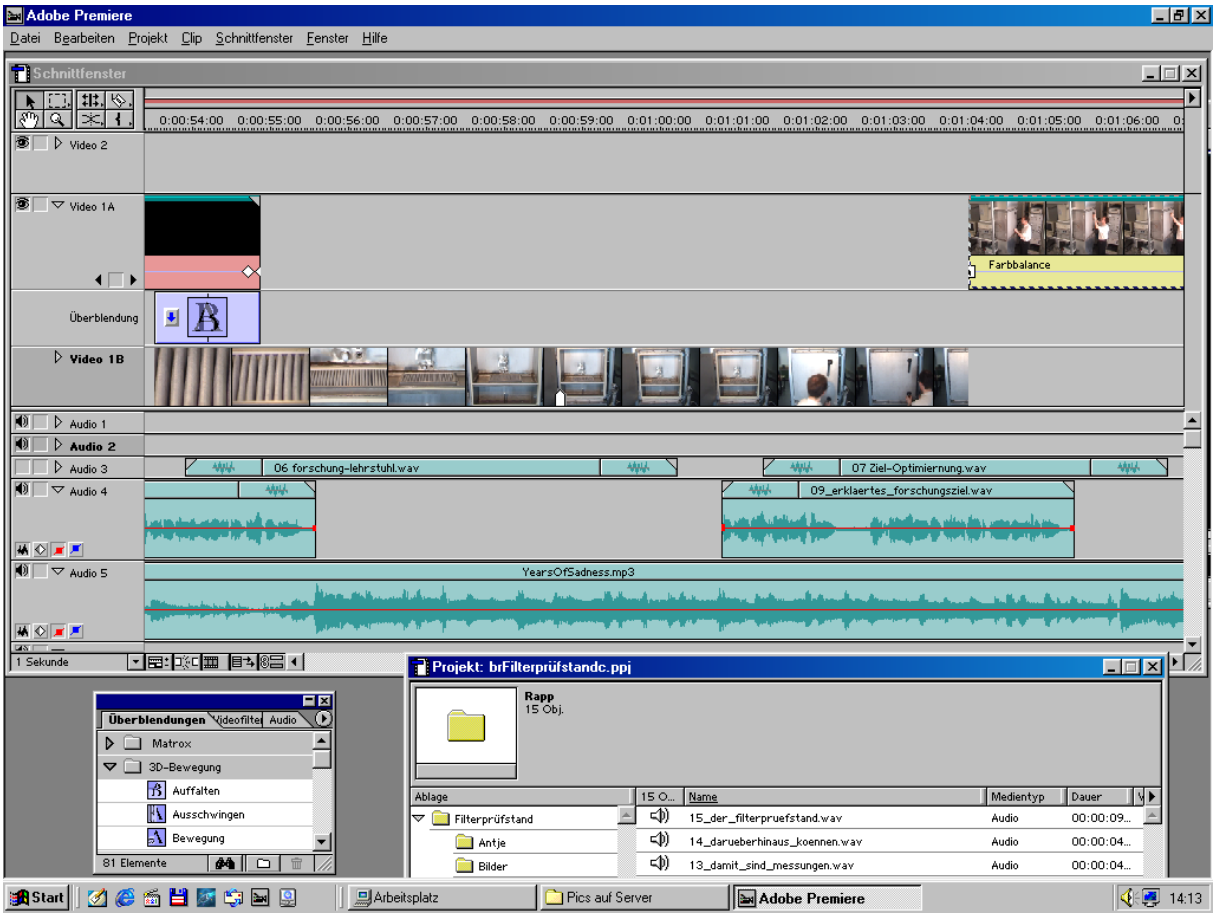


Abbildung 48: Digitaler Videoschnitt

Systeme für den digitalen Videoschnitt (non-linear editing, „nle-Systeme“) arbeiten in der Regel mit mehreren Spuren, die entlang eines einheitlichen Zeitstrahls verlaufen und verschiedene Medien (Video, Audio, Standbilder/Titel/Einblendungen) aufnehmen. Diese Medien können digital geschnitten und beliebig arrangiert werden; Helligkeit und Transparenz der Videodaten und der Pegel der Audiodaten können an jeder Stelle verändert werden. Zusätzlich steht eine Vielzahl von Überblendungseffekten zur Verfügung. Das Endprodukt ist ein linear ablaufender Film.

Authoring mit Hilfe von Autorensystemen (Flash, Macromedia Director)

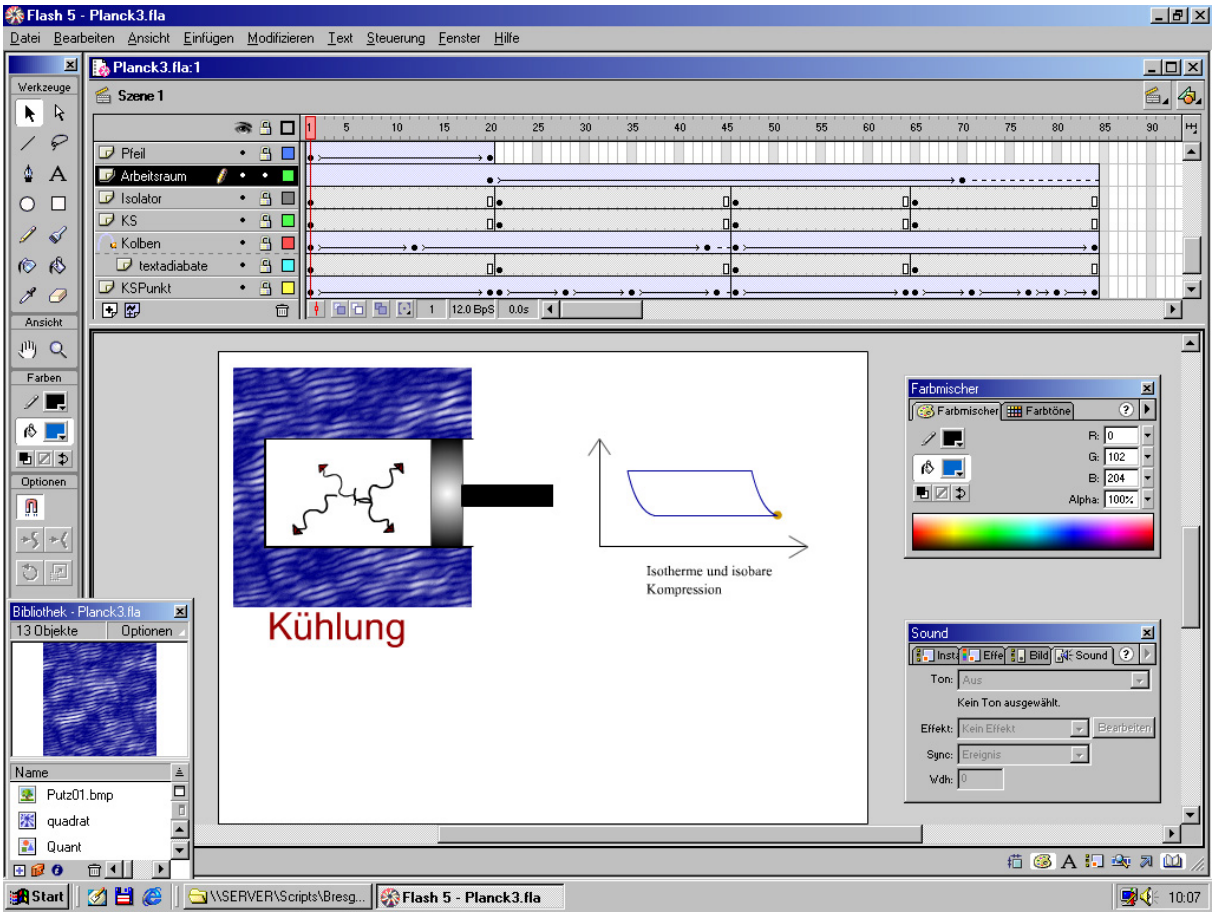


Abbildung 49: Autorensystem „Macromedia Flash“

Autorensysteme orientieren sich vielfach an der Spur-Metapher von Schnittsystemen. In der Abbildung sehen wir die Oberfläche von Macromedia Flash. Im oberen Teil sind die einzelnen Spuren (hier: „Ebenen“) zu sehen, die einzeln bearbeitet werden können, aber über ein einheitliches Zeitnormal verfügen. Jede Ebene kann ein einzelnes oder eine Reihe von Objekten erhalten. Die Objekte werden im Arbeitsbereich (unten) additiv überlagert angezeigt, werden je nach Vorgabe transparent, verschwinden oder bewegen sich.

Zusätzlich ist es möglich, den Ablauf der Animation an bestimmten Stellen anzuhalten oder in eine Endlosschleife zu führen. Aus dieser Endlosschleife heraus kann eine Benutzereingabe, z.B. ein Klick auf eine eingefügte Schaltfläche, ein Sprung zu einem anderen Teil der vorgegebenen Sequenz veranlassen. Das Endprodukt ist eine Sammlung linearen Filmsequenzen, die vom Benutzer interaktiv in variabler Reihenfolge abgerufen werden kann - also eine Mischung aus Film und interaktiver Software.

Authoring mit Hilfe von Programmiersprachen

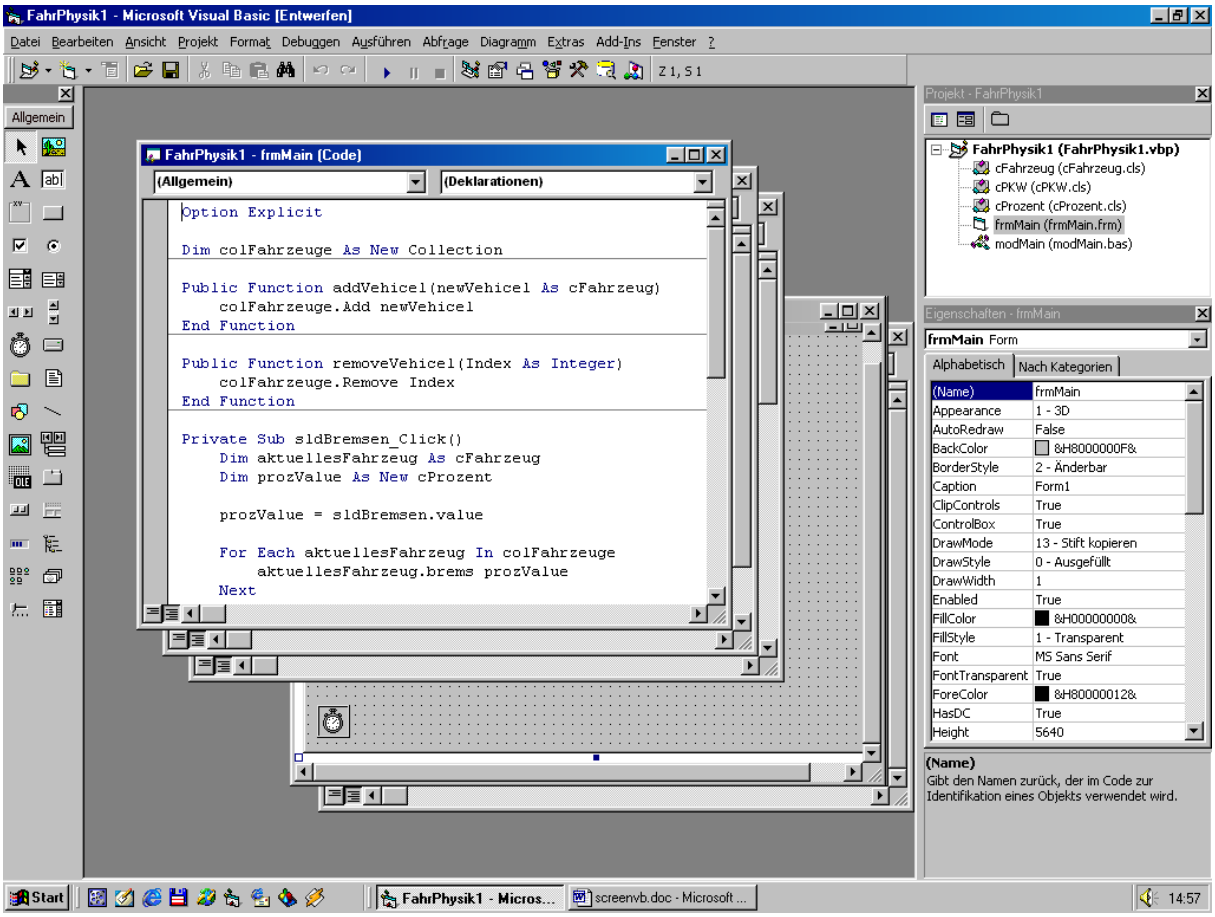


Abbildung 50: Die Entwicklungsumgebung von Visual Basic

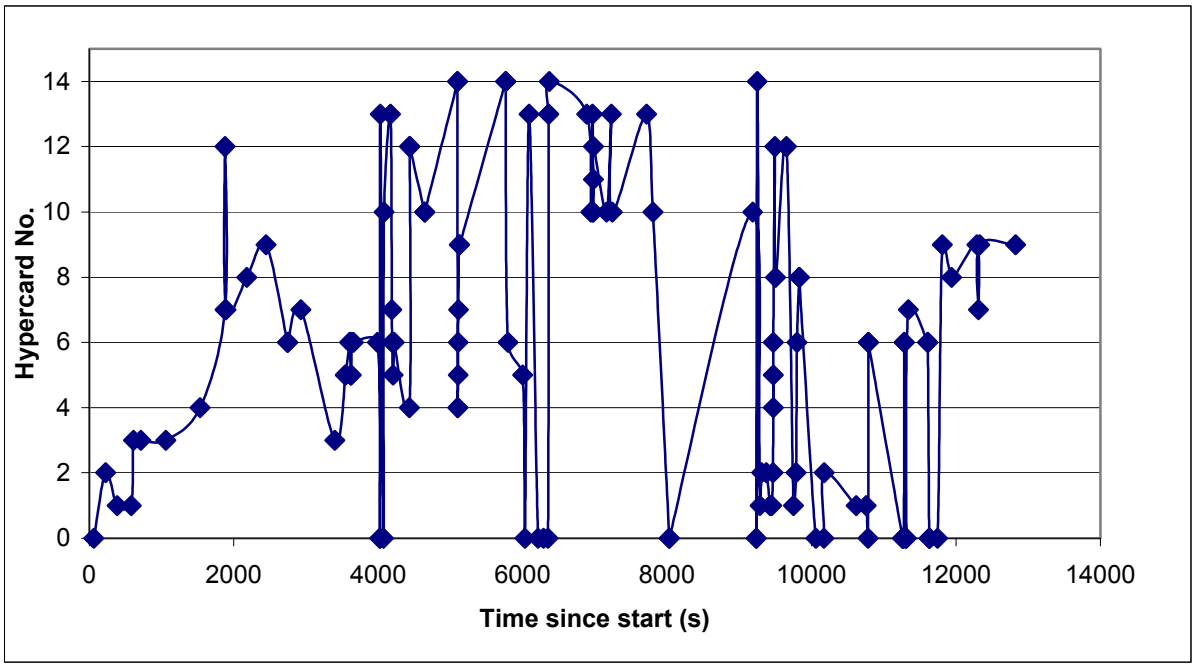
Die größte Flexibilität, aber auch den höchsten Einarbeitungsaufwand, verlangen multimediafähige Programmiersprachen von den Autoren. Mit Programmiersprachen wie Visual Basic, Delphi, Java oder Visual C++ können beliebige Oberflächen entworfen werden, die Informationen in jedem beliebigen Zusammenhang darstellen. Dabei können Videoclips ebenso wie Grafiken und Audiodateien wiedergegeben werden. Nahezu jede beliebige Form der Interaktion mit dem Benutzer kann integriert werden. Ebenso kann für die Interaktion auf jede externe Hardware zurückgegriffen werden, für die Standardschnittstellen wie RS-232 oder USB existieren oder realisierbar sind. So ist es zum Beispiel möglich, dass die Interaktion mit dem Benutzer über einen technischen oder naturwissenschaftlichen Versuch geschieht, der vom Benutzer durchgeführt und vom Computersystem ausgewertet und situationsbezogen kommentiert wird. Im Projekt „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung für die Lehrerausbildung (Physik/Technik)“ wurde ein entsprechender Praktikumsversuch für das werkstofftechnische Laboratorium entwickelt.

Abschnitt 4: Einsatz und summative Evaluation

Aufgabe 4: Indikatoren für Verhaltensänderung in der Zielgruppe und in der Vergleichsgruppe statistisch verfolgen (Webformular, Online-Nutzungsverfolgung oder Aktivitätskontrolle vor Ort)

Nachdem das Medium einen gewissen Zeitraum im Einsatz gewesen ist - z.B. nach Ablauf einer Unterrichtsreihe, in der das Medium eingesetzt wurde, oder nach Ablauf einer Messe, auf der mit dem Video Kunden angesprochen wurden - sollte der Auftraggeber direkt oder fernmündlich nach seiner Zufriedenheit befragt werden. Das Interview sollte vor allem die vom Kunden wahrgenommenen Reaktionen und Lernerfolge der Rezipienten hinterfragen. Da die Erfolgskontrolle in der Regel auch für den Kunden/Fachlehrer von Bedeutung ist, sollte er auch schon im Vorfeld bei der Entwicklung der Fragestellung beteiligt werden. Die einzelnen Fragen können sich entlang der im Abschnitt 2.1 definierten Ziele des Mediums, gegebenenfalls auch bis hinunter zu den im Punkt 2.3.1 entwickelten Funktionszielen der einzelnen Szenen entwickeln.

Die möglichst präzise Rückmeldung dient gezielt der Weiterentwicklung der Medienqualität für zukünftige Projekte. Aufgrund der großen industriellen und gewerblichen Bedeutung der Qualitätskontrolle (z.B. ISO 9000) sind bei größeren Projekten von vorne herein Mechanismen zur Qualitätskontrolle vorzusehen, die auf einen großen Kreis von Kunden/Rezipienten anwendbar sind. Zum Beispiel kann die Befragung durch eine zentrale Evaluationsstelle oder durch ein Call-Center mit Hilfe eines im Vorfeld definierten Kataloges von Interview-Fragen vorgenommen werden. Für die Erfolgskontrolle im Zusammenhang mit neuen Medien bieten sich aber auch eine Vielzahl innovativer Möglichkeiten an, die im Zusammenhang mit alten Medien so nicht bestanden haben. Ein Beispiel ist die zentrale Verfolgung der Mediennutzung durch die Rezipienten, wie sie bei jeder Form des Web-basierten Mediendistribution problemlos möglich ist, zeigt noch einmal die folgende Abbildung.



Ersichtlich ist, wie ein Nutzer auf dem Weg zu einer Problemlösung durch ein aus 15 Komponenten gebildetes Multimedia-Tutorial browst[120].

Die Interpretation dieser Art von Protokollen ist Gegenstand laufender Forschung und kann sicherlich nicht dem Kunden/Fachlehrer überlassen werden, zumal alleine das Erfassen und Bereitstellen der Daten in einer grafischen Form individuelle Anpassung und die Verwendung höherer Programmiersprachen und Datenbankzugriffskonzepten wie zum Beispiel OLAP (Online Analytical Processing) erfordert[121].

Sinnvoll ist ein Verbundkonzept, das den Kunden/Fachlehrern zusätzlich zu der Erstellung der Medien auch das hosting, das heißt das zentrale Bevorraten der Medien auf einem geeigneten Server, abnimmt. In diesem Fall kann die Auswertung einer Vielzahl von Nutzerdaten durch eine zentrale und qualifizierte Stelle erfolgen. Ein Konzept dieser Art wird an der Universität Duisburg derzeit im Projekt „Mechanik und Verkehr“ umgesetzt, das im Rahmen der Ausschreibung „Hochschulen in multimedialen Netzwerken - Neue Medien in Schulen und Hochschulen“ vom Kompetenznetzwerk Universitätsverbund MultiMedia NRW gefördert wird.

[120] Weitere Informationen über diesen Versuch im Abschnitt: „Einsatz, Erprobung und Evaluation von Komponentenorientierter Lernsoftware im Technikunterricht der Gymnasialen Oberstufe“

[121] Empfehlenswerte Einführung: Oehler, K.: OLAP - Grundlagen, Modellierung und betriebswirtschaftliche Lösungen. München: Hanser, 1999.

5 Einsatz, praktische Erprobung und empirische Evaluation

5.1 Zur praktischen Erprobung des Konzeptes

Eine praktische Erprobung des Konzeptes der objektorientierten Modellbildung muss eine ganze Reihe komplexer Fragen beantworten:

1. Ist die Objektorientierte Modellbildung ein praktikables Vorgehensmodell zur Erstellung multimedialer Lehr- und Informationsressourcen?

2. Ist die Objektorientierte Analyse und Modellbildung für sich genommen ein lernhaltiger Vorgang, das heißt: bilden sich bei den Akteuren der Objektorientierten Modellbildung selbst wünschenswerte Strukturen in Form internalisierter Modelle heraus, die als Erfüllung von Lernzielen der jeweiligen Schulform gewertet werden können? Dies wäre eine notwendige Bedingung zur Legitimation als eine Methode im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht.

3. Sind die mit Hilfe des Konzeptes erstellen Lern- und Informationsressourcen im komplexen Umfeld „Unterricht“ verwertbare Lehr/Lernhilfen?

4. Lassen sich die Werkzeuge der Objektorientierten Analyse und Modellbildung, hier vor allem die grafische Modellierungssprache dUML, prinzipiell als Strukturierungswerkzeuge im Unterricht verwenden?

Deutlich ist, dass es sich hier um eine komplexe Fragestellung auf 4 verschiedenen Ebenen handelt. Aufgrund der Komplexität der Fragestellung wurden die einzelnen Aspekte in 5 getrennten Erprobungsprojekten untersucht, wobei jeweils besondere Beobachtungsschwerpunkte gesetzt wurden.

Die **Objektorientierte Modellbildung als Vorgehensmodell** zur Erstellung multimedialer Lehr- und Informationsressourcen wurde in der Zwischenzeit in einer Vielzahl praktischer Projekte erfolgreich erprobt. Beispiele dafür sind:

- Der Informationsfilm „Rapid Prototyping“, der als CD-ROM im Heft 63 der Zeitschrift „Lehren und Lernen“ veröffentlicht wurde und als ausgesuchter Beitrag auf dem Filmfestival 2001 der IWF Wissen und Medien in Göttingen der Öffentlichkeit präsentiert wurde;

- Der Informationsfilm „Prüfstand für KfZ-Innenraumfilter“, der 2001 auf der Umwelttechnik-Fachmesse ENVITEC präsentiert wurde;

- Einige Multimedia-Komponenten in der Wanderausstellung „Physik und Technik elektronischen Geldes“ von Professor Dr. Gernot Born, die das entsprechende Produkt der Bank und physikalische und technische Konzepte

der Informationsspeicherung Datensicherung und Informationsübertragung mit Hands-on-Experimenten und Multimedia-Komponenten demonstriert[122].

- Der Informationsfilm „Sicherheitssysteme für die Fahrer von Gablestaplern“, der seit 2002 in das Verlagsprogramm des Lehrmittelverlags Resch in Gräfelfing aufgenommen wurde;

- Das Projekt COLEEN: „Komponentenbasierte Lernsoftware für die Lehrerausbildung (Physik und Technik in den Sekundarstufen I und II sowie Lernbereich Sachunterricht Naturwissenschaften-Technik) und für die integrierten Studiengänge Physik - Diplom I und II“. COLEEN ist ein Kooperationsprojekt mit dem Fach Technologie und Didaktik der Technik an der Universität Essen und wurde von 1999 bis 2001 vom Universitätsverbund MultiMedia des Landes NRW mit 343.000 DM gefördert.

Der Informationsfilm „Prüfstand für KfZ-Innenraumfilter“ entstand im Sommersemester 2001 im Rahmen des Seminars „neue Medien im Naturwissenschaftlich-technischen Unterricht“. Die Studenten hatten keine oder nur geringe Vorkenntnisse im Bereich der Medientechnik oder Medienentwicklung. Dennoch konnten Sie, unter Anleitung, mit Hilfe des „allgemeinen Vorgehensmodells zur Objektorientierten Systemanalyse und zur Objekt- und Komponentenorientierten Produktion neuer Medien“ erfolgreich vorgehen. Die Arbeit der Seminargruppe wurde exemplarisch dokumentiert und diente als **Grundlage zur Darstellung des allgemeinen Vorgehensmodells im letzten Kapitel**.

Das Projekt COLEEN wurde 2001 erfolgreich zum Abschluss gebracht[123]. Am Projektstandort Duisburg wurden die Entwicklungsaufgaben vor allem von einer größeren Zahl studentischer Hilfskräfte getragen; zeitweise waren bis zu 16 Entwickler beschäftigt. Das „„„allgemeine Vorgehensmodell zur Objektorientierten Systemanalyse und zur Objekt- und Komponentenorientierten Produktion neuer Medien“ entstand in diesem Projekt vor dem Hintergrund der komplexen Anforderungen an das Projektmanagement.

Da das Projekt COLEEN Anlass zur Entwicklung und Ort der Erprobung des allgemeinen Vorgehensmodells war, soll im direkt anschließenden **ersten Teil** dieses Kapitels eine Darstellung des Projektes erfolgen.

Ob der Prozess der **Objektorientierte Analyse und Modellbildung** für sich genommen ein **lernhaltiger Vorgang** ist, wurde in den Jahren 2000 und 2001 in einem breit angelegten Feldversuch mit insgesamt 191 beteiligten Schülern und 8 Lehrern an 6 verschiedenen Schulen des Landes Nordrhein-Westfalen überprüft. Obwohl es schwierig ist, im Bildungsbereich eindeutig und objektiv mit Begriffen wie „besser“ und „schlechter“ zu arbeiten, sprechen die bisherigen Ergebnisse dafür, dass die Objektorientierte Modellbildung beim Vermitteln physikalischer Kenntnisse den bisherigen Methoden des Physikunterrichtes

---

[122] Born, G.: Physik und Technik elektronischen Geldes. Wanderausstellung mit Multimedia-Komponenten und Hands-on-Experimenten. Commerzbank AG, Frankfurt, 1996.

[123] http://COLEEN.uni-duisburg.de

mindestens gleichwertig, und in vielen Aspekten sogar deutlich überlegen ist. Insbesondere konnte nachgewiesen werden, dass der intensive Computereinsatz beim Vorgang der Objektorientierten Modellbildung Mädchen im Physikunterricht nicht nur nicht benachteiligt, sondern unter Beachtung bestimmter Grundsätze sogar eine fördernde und aktivierende Wirkung auf Mädchen hat. Planung, Verlauf und Ergebnisse der Untersuchung werden im **zweiten Teil** dieses Kapitels beschrieben.

Eine der ersten mit Hilfe des Konzeptes erstellen **Lern- und Informationsressourcen für den Unterricht** wurde in einem Leistungskurs des Faches Technik an der gymnasialen Oberstufe im Verlauf einer Unterrichtsreihe zum Thema „Informationsumsatz in technischen Systemen erprobt“. Dabei wurde ein nach dem Objektorientierten Ansatz modelliertes und nach den Prinzipien der Komponentenorientierten Lernsoftwareentwicklung aufgebautes Lernmodul zum Teil einer Sammlung experimentalpraktischer Versuche zum Thema „Regelungstechnik“. Die Schüler bearbeiteten die Versuche weitgehend selbstständig unter Anleitung des Lernmoduls. Das Vorgehen, Verhalten und die Kommentare und Reaktionen der Schüler wurde im **dritten Teil** dieses Kapitels dokumentiert und ausgewertet.

5.2 Erster Teil: Praktische Erprobung der Objektorientierten Modellbildung im Projekt COLEEN: „Komponentenbasierte Lernsoftware für die Lehrerausbildung (Physik und Technik in den Sekundarstufen I und II sowie Lernbereich Sachunterricht Naturwissenschaften-Technik) und für die integrierten Studiengänge Physik - Diplom I und II“

5.2.1 Problemhintergrund und Aufgabenstellung des Projektes

5.2.1.1 Mehrfache Nutzung des fachlichen Grundlagenwissens

Die beteiligten Fächer bieten die Lehramtsstudiengänge für die Sekundarstufen I und II in den Fächern Physik und Technik, darüber hinaus an der GMU Duisburg die Vorlesungen „Experimentalphysik I-IV“ für die Studiengänge Physik (Diplom I/II) und an der GHS Essen Lehrveranstaltungen für das Fach „Sachkunde Naturwissenschaft-Technik“ im Lehramtsstudiengang für die Primarstufe an. Eine Reihe von Grundlagen spielen dabei in allen beteiligten Fächern eine bedeutende Rolle:

Grundlagen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik

> Diese Grundlagen sind zum experimentell-analytischen Vorgehen bei der quantitativen Erfassung naturwissenschaftlicher Phänomene ebenso wichtig wie für die Überwachung, Optimierung, Steuerung und Regelung technischer Systeme zum Stoff-, Energie- und Informationsumsatz.

Grundlagen der Thermodynamik

Die Thermodynamik ist ein eigenständiges Wissensgebiet in der Physik und der Technik und Bestandteil der neuen Lehrpläne für das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe. Das notwendige, komplexe Grundlagenwissen muss in der Ausbildung der Physik- und Techniklehrer vermittelt werden. Ebenso bilden thermodynamische Prozesse, vor allem Kreisprozesse, die Grundlage für zahlreiche technische Anlagen wie Kraftwerke und Fahrzeugantriebe.

Grundlagen der Optik und ihre Anwendung in der Informationstechnik

Die Optik spielt im Fach Physik - sowohl in den Lehrplänen der Schule als auch in der Fachsystematik - eine wichtige Rolle. Die Zukunftsbedeutung der Optoelektronik und die zunehmende Verbreitung von Lichtwellenleitern in der Informations- und Kommunikationstechnik machen die Optik auch zu einer bedeutenden Grundlagenwissenschaft für technische Anwendungen.

5.2.1.2 Verbesserte Präsentation des ausgewählten Lehrstoffes im Vergleich zu konventionellen Medien

Eine für das vorliegende Projekt wesentliche Gemeinsamkeit zwischen den genannten Beispielen ist, dass sich die Modellvorstellungen hinter den genannten Grundlagen mit konventionellen Medien - gesprochenes Wort, Text, Zeichnungen - nur sehr schwer vermitteln und erfassen lassen. Grund dafür sind folgende Charakteristika, die typisch sind für naturwissenschaftliche Vorgänge, technische Prozesse sowie die hieran beteiligten Systeme:

1. **Räumliche und zeitliche Ausdehnung**
2. **Abhängigkeit von zahlreichen variablen Parametern**
3. **Fehlende sinnliche Wahrnehmbarkeit**

Den Studierenden werden beim Erfassen des in der Präsentation mit konventionellen Medien Dargebotenen hohe Kognitionsleistungen abverlangt: Das Erfassen der räumlichen Ausdehnung eines Systems aus einer flachen Skizze setzt Fähigkeiten beim Betrachter voraus, die individuell unterschiedlich gut ausgeprägt sind. Das Zeitverhalten kann kaum durch eine einzelne statische Abbildung wiedergeben werden. Sind Vorgänge tatsächlich nicht beobachtbar, ist auch deren Wiedergabe durch Realfilme bzw. Fotografien nicht möglich. Die - teilweise sogar kombinierte - Variation von Parametern muss im Kopf des Lernenden geschehen. Dies wird, nach unseren Erfahrung und in Übereinstimmung mit dem Theoriemodell von Piaget, erst dann erfolgreich sein, wenn der Studierende bereits über eine rudimentäre Modellvorstellung, ein Präkonzept, verfügt. Dieses Präkonzept muss dann durch geistiges Variieren der Parameter getestet und evaluiert werden, bis es sich hinreichend mit der vom Lehrenden präsentierten Modellvorstellung deckt. Leider scheitert der Vorgang allzu häufig. Grund dafür ist nicht nur der hohe kognitive Anspruch, den diese Vorgehensweise stellt, sondern auch die Tatsache, dass dieser geistige Vorgang an keiner Stelle beobachtbar wird (es sei denn durch „lautes Denken“), also auch nur sehr schwierig von den Lehrenden überprüfend begleitet und unterstützt werden kann.

5.2.1.3 Probleme beim Einsatz kommerzieller Lernsoftware in fachdidaktischen Lehrveranstaltungen

Lernen lässt sich als soziale Handlung betrachten, in deren Verlauf menschliche Individuen einer Lerngruppe sich in aktiver Auseinandersetzung mit ihrer Umgebung Wissen und Fähigkeiten aneignen und im kooperativen Gespräch Modellvorstellungen zur Repräsentation der vermittelten Grundlagen generieren. Eine fachdidaktische Lehrveranstaltung dient daher nicht nur dazu, den Lehramtsstudenten Wissen zu vermitteln, sondern muss in ihnen auch die Fähigkeit grundlegen, die komplexen Prozesse beim Vermitteln und Verstehen dieses Wissens im Unterrichtsgeschehen beobachten, bewerten und steuern zu können. Der Einsatz von Lernsoftware in bestehender Form führt hier zwangsläufig zu Problemen. Bestehende Lernsoftware zielt vielfach vor allem darauf ab, einem einzelnen Benutzer möglichst selbstständigen Wissenserwerb zu ermöglichen. Der sich daraus ergebende Verlust der sozialen Interaktion ist aber vor dem Hintergrund der genannten Aufgabe der Veranstaltungen nicht tragbar. Eine kommerzielle Lernsoftware stellt dazu noch ein abgeschlossenes und damit wenig erweiterungsfähiges und wenig transparentes Produkt dar. Vielfach ist der Handlungsspielraum des Benutzers auch noch sehr stark eingeschränkt, sogar auf eine passive oder nur einfach interaktive Nutzung reduziert. In fachdidaktischen Lehrveranstaltungen kann sich der Umgang mit neuen Medien aber nicht auf diese Form der Nutzung beschränken. Es ist dabei insbesondere die Multiplikatorwirkung der Lehrerausbildung zu beachten: Der Lehrer wird seinen Schülern schon durch die Gestaltung seines Unterrichtes die Haltung und Arbeitsweise weiter vermitteln, die er im Umgang mit neuen Medien an der Hochschule erworben hat.

Ziel muss es daher sein, bei den angehenden Lehrern eine echte Handlungskompetenz im Zusammenhang mit neuen Medien zu entwickeln. Das heißt, es muss der handelnde, kreativ-schaffende und problemlösende Umgang mit Lernsoftware und den Werkzeugen zu deren Erstellung grundgelegt werden.

5.2.1.4 Einsatz in den Lehrveranstaltungen

- **Vorlesung**

Die Komponenten lassen sich sowohl in geschlossener Lernsoftware oder Internet-Ressourcen für das selbstgesteuerte Lernen, als auch im Demonstrationseinsatz in Vorlesungen nutzen. Der innere Aufbau und die Funktionsweise von Messgeräten, die Struktur eines Regelkreises und das Verhalten von Reglern und Regelstrecken lässt sich mit in der Hochschule vorhandenen Geräten (PC/Notebook, Video-Beamer) aus den beschriebenen Gründen wesentlich besser demonstrieren als mit konventionellen Medien. Besonderer Vorteil ist hier wieder die interaktive Variierbarkeit von Parametern mit dem Ziel, eine vertiefte Vorstellung von Zusammenhängen bei den Hörern zu erreichen oder auf Fragen der Hörer einzugehen.

- **Übung und Tutorium**

Übungen und Tutorien haben das Ziel, die Inhalte der Vorlesungen zu vertiefen und die Möglichkeit zur Klärung relevanter Fragen zu geben. Dabei ist es natürlich sinnvoll, wenn die in den Vorlesungen genutzten Medien auch in den Übungen zur Verfügung stehen. Auch aus diesem Grund sollen die Medien zentral auf einem Server im Netz vorgehalten werden und so bei Bedarf flexibel und lernortunabhängig genutzt werden können.

- **Praktikum**

Um reflektiertes und zielbewusstes Handeln in technischen und naturwissenschaftlichen Praktika zu ermöglichen, müssen in der Regel bestimmte Grundlagen geklärt worden sein. Hierzu können, ähnlich wie in den Übungen, die auf dem Server oder auf PCs im Praktikumsraum vorgehaltenen Lernanwendungen genutzt werden. Durch die Interaktivität ergeben sich bei der Vorbereitung von Versuchen jedoch noch neue Möglichkeiten: Beispielsweise können die Softwarekomponenten, die das Verhalten von Reglern und Regelstrecken für eine Lernanwendung „Einführung in die Regelungstechnik“ simulieren sollen, auch zu einem Modell des Laborversuches (mit den entsprechenden Kenndaten) zusammengefügt werden. Die Studenten könnten an diesem idealisierten Modell die zu beherrschenden Verfahren vorbereitend erproben und am realen Aufbau qualifizierte Vergleiche treffen.

- **Seminar**

In den Seminaren erfolgt die Nutzung in folgender Weise:

- **Informationsbeschaffung zu einem Thema mit Hilfe der vorhandenen Module**
- **Integration der vorhandenen Komponenten in die eigene Arbeit**
  Beispiel: vorhandene Animationen werden in einer HTML-Darstellung zusammengefasst, in einen neuen Zusammenhang gestellt und dabei durch Erläuterungen aufgewertet. ActiveX-Komponenten, wie z. B. die simulierten Darstellungen von Messgeräten und elektronischen Bauelementen, werden mit einer Visual Basic Entwicklungsumgebung zum interaktiven Modell eines bestimmten Laborversuches zusammengefügt.
- **Neue oder verbesserte Komponenten erstellen**
  Beispiel: Anpassung an einen neuen technischen Stand der Darstellung, hinzufügen von mehr Interaktivität, Addition von kommentierendem Ton zu einer Animation, Programmierung einer ActiveX-Komponente, die das Verhalten eines neuartigen Bauteils darstellt und sich in das bestehende Modell eines Laborversuches integrieren lässt.

Auf diese Weise ist die ständige Weiterentwicklung des Medienangebotes explizit gewährleistet, da beides Aufgabe und genuiner Bestandteil des Seminarkonzeptes ist. Unseres Wissens nach werden diese Einsatzperspektiven, die durch das Konzept der Synthese aus wohldokumentierten Softwarekomponenten ermöglicht werden, von keinem der bislang in diesen Lehrgebieten existierenden Angebote ermöglicht.

5.2.2 Inhalt und Umfang der Komponentensammlungen

Komponentensammlung „Messen, Steuern, Regeln“
Grundbegriffe der Messtechnik, Sensoren und Messgeräte, Datenübertragung, Steuern von Prozessen, Grundbegriffe der Regelungstechnik, Regelkreise, Regler, Regelstrecken.

Komponentensammlung „Grundlagen der Thermodynamik“
Grundbegriffe der Thermodynamik, Wärmelehre, Energie und Entropie, Kreisprozesse, Hohlraumstrahlung.

Komponentensammlung „Grundlagen der optischen Nachrichtentechnik“
Reflektion, Totalreflektion, Dispersion, Absorption, Bandbreite, Übertragungsrate, Lichtwellenleiter.

5.2.3 Beschreibung der Projektergebnisse: Erstellte Software

5.2.3.1 Gesamtdarstellung

Die im Projekt „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung“ erstellten Softwarekomponenten sind in das „Component Oriented LEarning ENvironment" eingeordnet worden. Dabei handelt es sich um ein wissensbasiertes System, das im Intranet der beteiligten Fächer und, im begrenzten Rahmen, auch im Internet zur Verfügung steht.

Der Zugang zu den Ressourcen kann erfolgen:

1. Über eine LOM-Datenbank, in der die in COLEEN enthaltenen Informationen nach dem Learning Object Metadata Standard des Learning Technology Standards Comittee der IEEE (http://ltsc.ieee.org) klassiert enthalten sind und eine Metasuche nach Stichworten vorgenommen werden kann.

2. Über eine grafische Repräsentation des Wissensnetzwerkes, mit der die Bezüge der Komponenten untereinander dargestellt werden können.

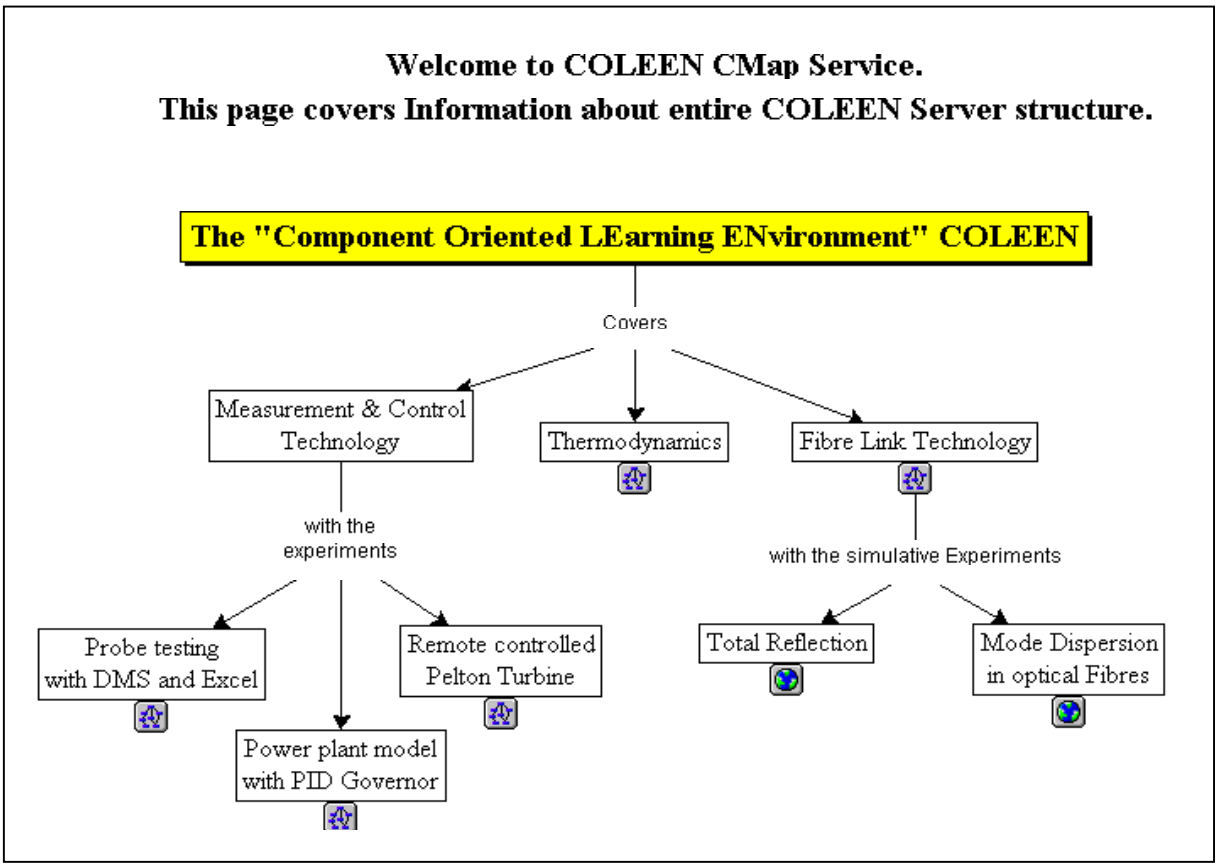


Abbildung 51: grafische Repräsentation der Coleen-Komponenten und ihrer Relationen auf der Webseite des COLEEN-Servers.

Für die Erstellung, Nutzung und Verwaltung wird die Concept Mapping Software „CMap" des Institute for Human&Machine Cognition der University of Western Florida verwendet. CMap kann für den Gebrauch in Forschung und Unterricht kostenlos von der Website http://www.coginst.uwf.edu bezogen werden.

In der ROOT-Map des Netzwerkes wird die grundsätzliche Aufteilung in die Bereiche Lichtwellenleiter, Messtechnik und Thermodynamik wiederum deutlich. Die eigentlichen Inhalte finden sich in den Tochter-Netzwerken, die den eben genannten Hauptknoten zugeordnet sind und durch einen Mausklick auf das Netzwerksymbol erreicht werden können.

Die Komponenten des Themenbereiches Messtechnik sind anhand dreier exemplarischer Leitexperimente entwickelt worden, die jeweils den Veranstaltungen der drei Teilgebiete Stoffumsatz (S), Energieumsatz (E) und Informationsumsatz (I) des Technikstudiums entnommen sind.

- Aus dem Teilgebiet „spezielle Gebiete des Informationsumsatzes“ kommt ein Versuch zur Drehzahl, Frequenz- und Spannungsregelung eines Motor-Generator-Satzes.

- Aus dem Teilgebiet „Stoffumsatz in technischen Systemen“ stammt ein Versuch der Werkstoffkunde. Hier wird die Zugfestigkeit von Stählen mit Hilfe aufgebrachter Dehnungs-Messstreifen erfasst.

- Aus dem Teilgebiet „Energieumsatz in technischen Systemen“ stammt ein Versuch zur Gewinnung elektrischer Energie aus Wasserkraft mit Hilfe einer Pelton-Turbine. Dieser wurde mit Hilfe von COLEEN-Komponenten für eine ferngesteuerte Versuchsdurchführung über TCP/IP Netzwerk vorbereitet. Ein bereits erprobter Anwendungsbereich ist die Durchführung von Fernsteuerungsexperimenten zusammen mit Schulen.

Durch die Entwicklung von Messtechnik-Komponenten entlang der exemplarischen Leitexperimente wird gewährleistet, dass die Aufgaben der Komponenten innerhalb des komplexen Messaufbaus deutlich wird. Die Komponenten im Bereich Messtechnik ergeben in der Regel wenig Sinn, wenn sie isoliert betrachtet werden.

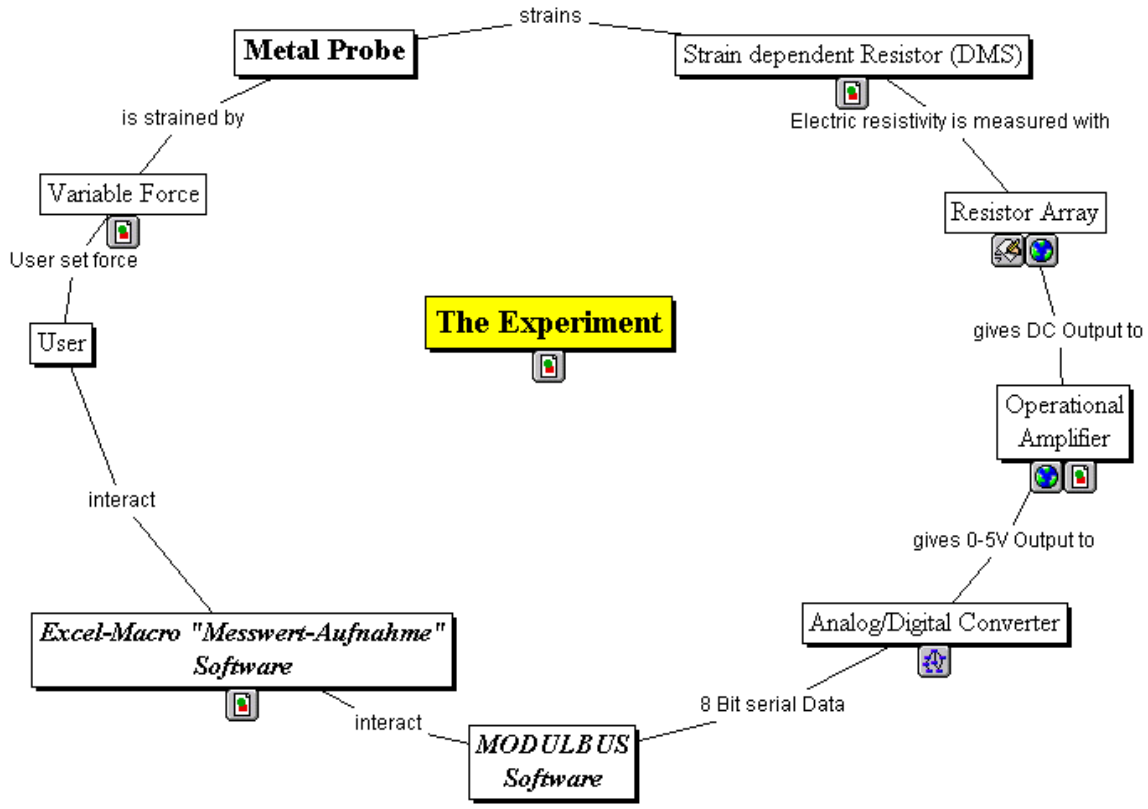
5.2.3.2 Der Themenbereich Messtechnik

Wie bereits geschildert, wurden die Komponenten des Themenbereiches Messtechnik entlang dreier exemplarischer Leitexeperimente aus den Bereichen Umsatz von Stoff (S) Energie (E) und Information (I) entwickelt. Die Concept Maps der COLEEN Datenbank geben entsprechend direkt die Struktur der Leitexperimente wieder; gleichzeitig spiegeln sie die Funktion der das Experiment konstituierenden Subsysteme und die Rolle der Komponenten, die einzelne Subsysteme modellhaft repräsentieren.

Der Referent kann dadurch die Funktionsweise einzelner messtechnischer Subsysteme aus dem Zusammenhang herausgreifen und beleuchten. Der Student kann sich zu Vorbereitung des Experimentes mit einzelnen Messtechnischen Subsystemen vertraut machen, indem er die entsprechende Komponente herunterlädt und betrachtet.

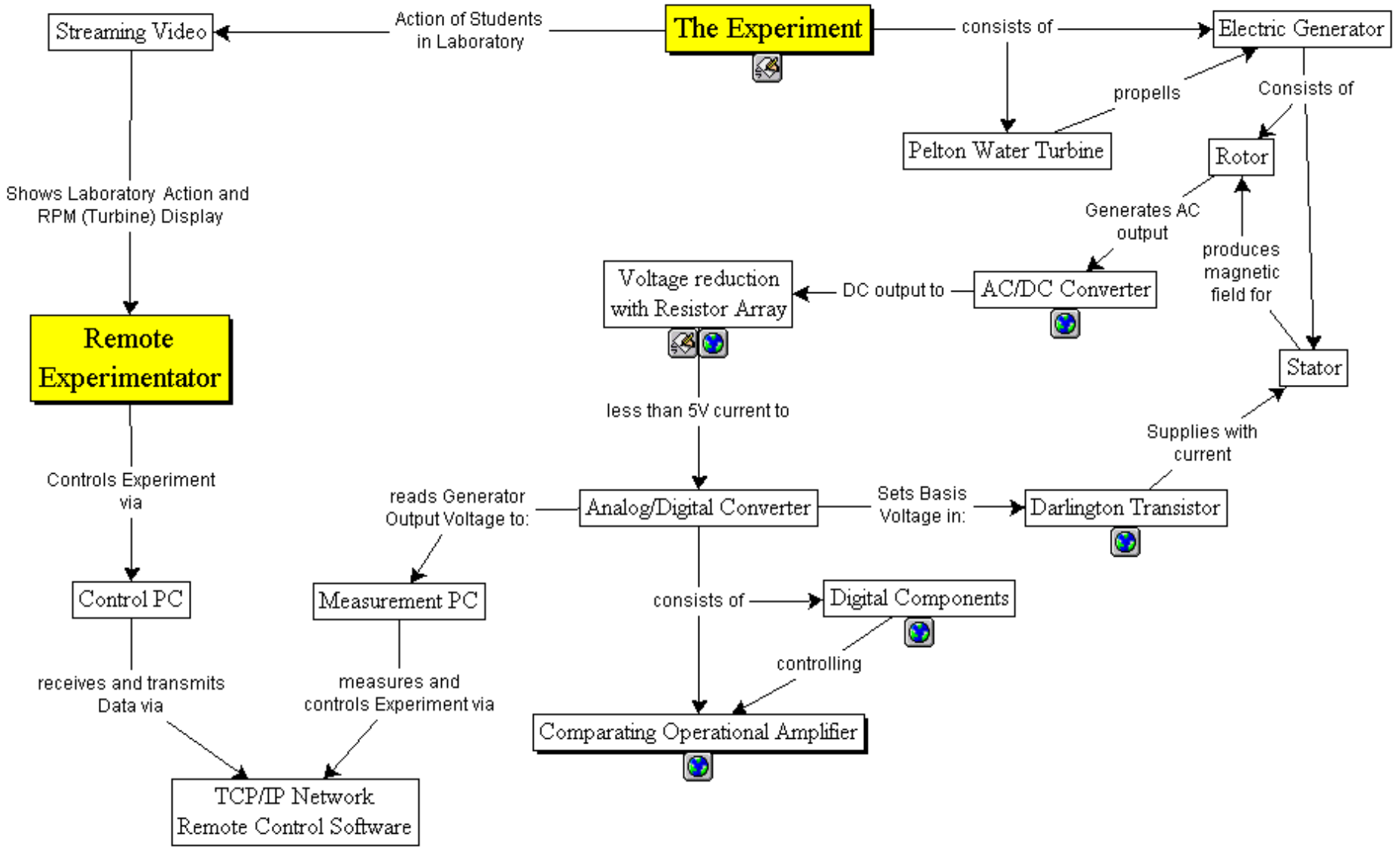
Aus dem Bereich Stoffumsatz (Werkstofftechnik) stammt ein bekanntes Experiment zur Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Diagramms belasteter Metallproben. Für das COLEEN-Projekt wurden die nichtelektrischen Messgrößen elektronisch erfassbar gemacht; parallel dazu wurden Repräsentationen der messtechnischen Systeme durch die entsprechenden Komponenten erstellt.

Abbildung 52: COLEEN-Komponenten, mit denen sich ein Laborversuch zu Dehnungs-Mess-Streifen repräsentieren lässt, und ihre Relationen.



Folgende Seite:

In gleicher Weise wurde aus dem Bereich Energieumsatz der Simulationsstand eines Wasserkraftwerkes für die computergestützte Vermessung vorbereitet. Eine Besonderheit ist, dass dieses Experiment über eine TCP/IP Verbindung (Internet) gesteuert und vermessen werden kann, um Schülergruppen die Teilnahme an einem Experiment über Telemetrie zu ermöglichen. Hier sind die Komponenten nicht bloße Repräsentationen, sondern aktiver Bestandteil des Experimentes.


Streaming Video
Action of Students in Laboratory
The Experiment
consists of
Electric Generator
propells
Consists of
Pelton Water Turbine
Rotor
Shows Laboratory Action and RPM (Turbine) Display
Generates AC output
produces magnetic field for
Voltage reduction with Resistor Array
DC output to
AC/DC Converter
Remote Experimentator
Stator
less than 5V current to
Supplies with current
Controls Experiment via
reads Generator Output Voltage to:
Analog/Digital Converter
Sets Basis Voltage in:
Darlington Transistor
Control PC
Measurement PC
consists of
Digital Components
controlling
receives and transmits Data via
measures and controls Experiment via
Comparating Operational Amplifier
TCP/IP Network Remote Control Software

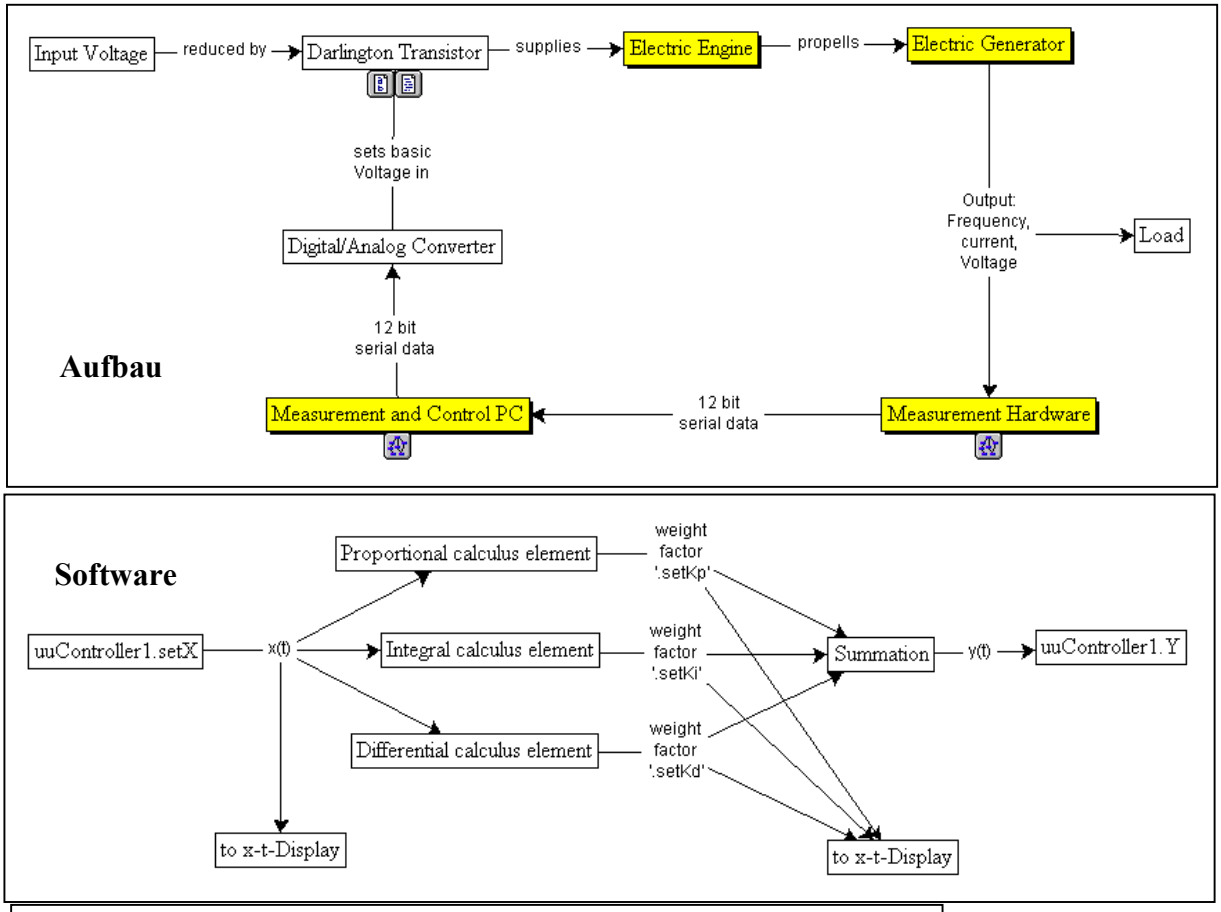


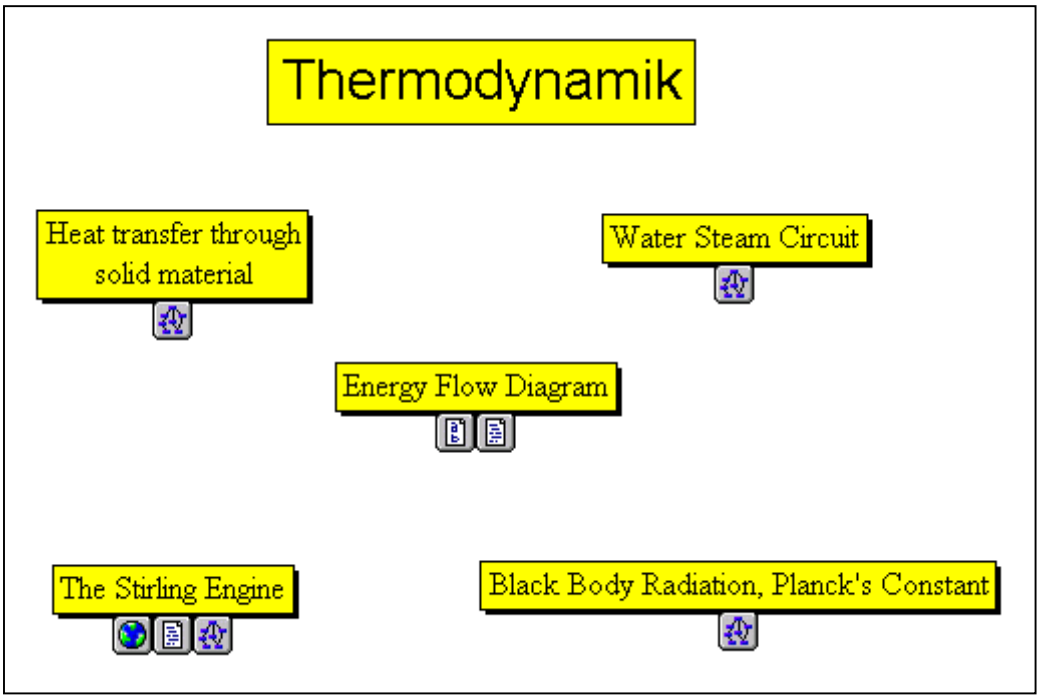
Abbildung 53: Im Bereich Informationsumsatz wurde eine Problemstellung aus der Regelungstechnik, die Drehzahlregelung eines Generators, als Leitexperiment gewählt. Die Diagramme zeigen neben dem generellen Aufbau die Problemlösungsebenen im Hard- und Softwarebereich.

Tabelle: Komponenten des Themenbereiches „Messtechnik“

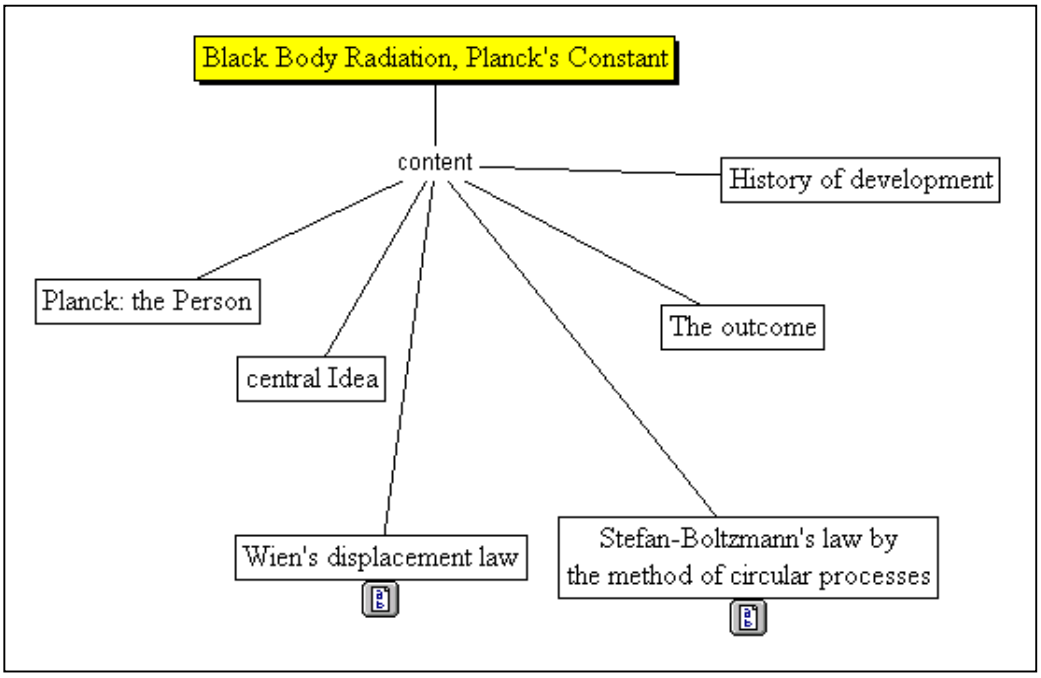
Bezeichnung	Kategorie	Technische Ausführung	Funktionsbeschreibung
Ansteuerungskomponente für Messinterface	Interaktiv mit Hard- und Softwareschnitt-stelle	ActiveX	Ohne dass sich der Designer um Parameter der Schnittstelle und deren Initialisierung küm-mern muss, kann er durch einfache Anweisungen auf das Messinterface zugreifen. Fehler werden abge-fangen. Die Komponente ist Teil der Vorleistung des Faches Technologie und Didaktik der Technik an der Universität Duisburg.
Dokumentationen zum Einsatz des Interfaces	Dokumentation	Text	Dokumentation zum Ein-satz der Ansteuerungs-komponente für die Fern-steuerung und Fernmes-sung einer Solaranlage (Bereich Informations-umsatz)
Plotter	Interaktiv mit Soft-wareschnittstelle Eingangsgrößen: x, y Interner Zeitgeber	ActiveX	Komfortables Control für (x,y) bzw (x,t) Dia-gramme
Aussteuerungsanzeige	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Pegel-Anzeigeinstrument
Transistor	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Simulation des Verhal-tens von Transistoren in verschiedenen Beschal-tungen

Digital-Analog-Wandler	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Visualisierung der Funktion eines Digital-Analog-Wandlers. Das Modell kann mit starker zeitlicher Verzögerung arbeiten
OP-Verstärker	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Simulation der Funktionsweise eines Operationsverstärkers in diversen Beschaltungen
Reihen/Parallelschaltung	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Reihen/Parallelschaltung von Widerständen, Messbrücken
P-Regler	Interaktiv mit Softwareschnittstelle Eingangsgrößen: x, k Ausgangsgröße: y	ActiveX	Reagiert auf eine Regelabweichung x mit der Stellgrösse $y = k \cdot x(t)$
I-Regler	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Reagiert auf eine Regelabweichung x mit der Stellgrösse $y = \int x(t)\,dt$
D-Regler	Interaktiv mit Softwareschnittstelle	ActiveX	Reagiert auf eine zeitliche Änderung der Regelabweichung x mit der Stellgrösse $y = \frac{d}{dt}x(t)$
Peltonturbine	Dokumentation	Text	Dokumentation zur Messtechnik im Bereich Energieumsatz am Beispiel „Messungen an einer Peltonturbine“
Einsatz von Dehnungsmess-Streifen (DMS)	Dokumentation	Text	Dokumentation zu Messtechnik im Bereich Stoffumsatz am Beispiel „Aufnahme eines Spannungs-Dehnungs-Diagrammes“

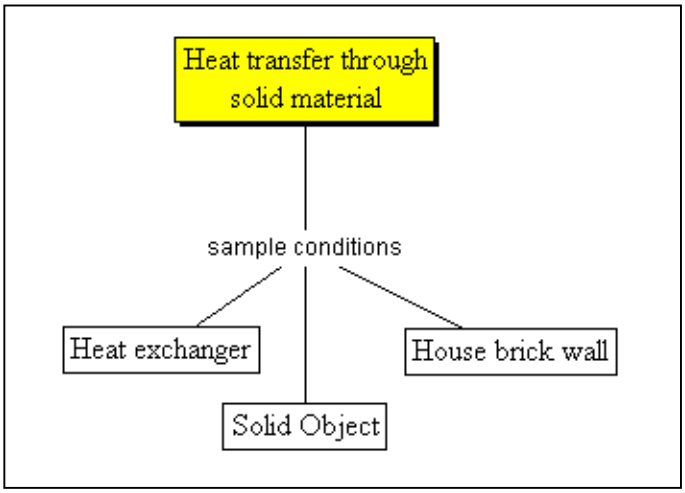
5.2.4 Themenbereich Thermodynamik



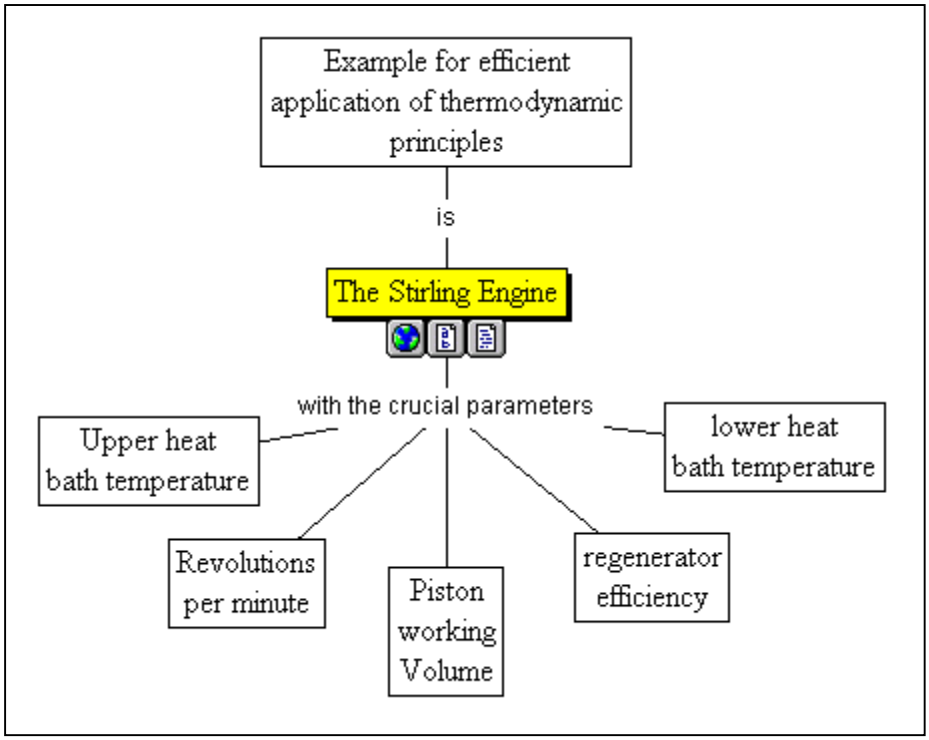
Die Inhalte des Themenbereiches Thermodynamik



Der Informationsbereich „Strahlung schwarzer Körper“



Informationen zur Komponente „Wärmedurchgang und Wärmeübergang“



Informationen zur Komponente „Prinzip des Stirlingmotors“

Informationen zur Komponente „Der Wasser-Dampf-Kreislauf thermischer Kraftwerke“

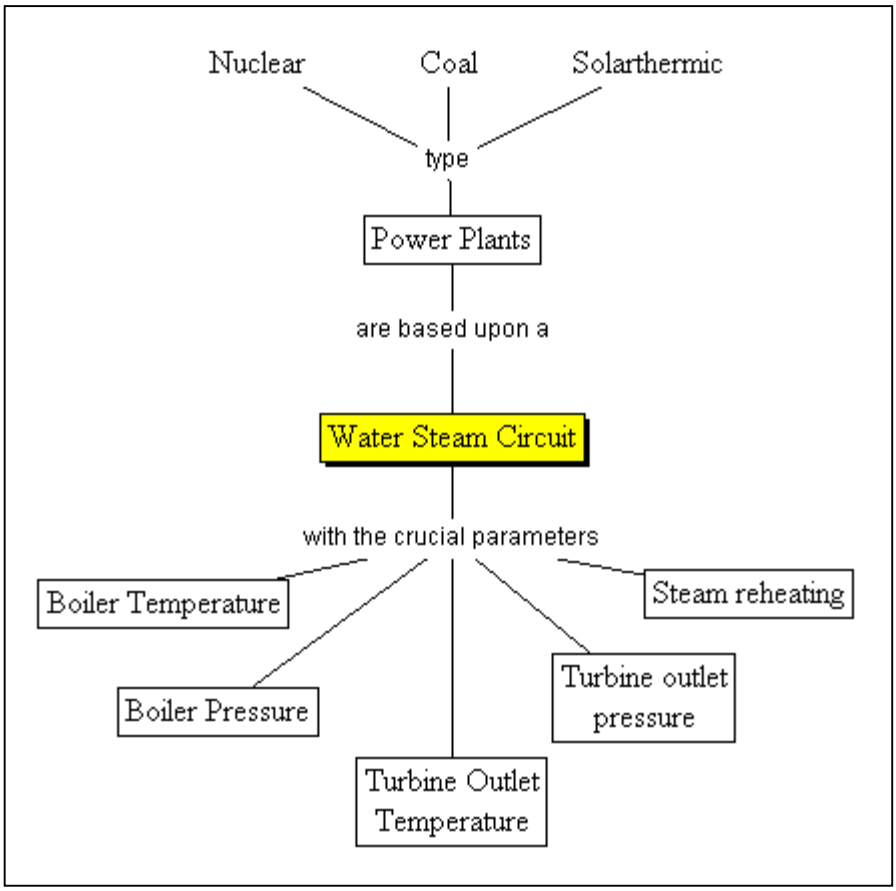


Tabelle: Komponenten des Themenbereiches Thermodynamik

Bezeichnung	Kategorie	Technische Ausführung	Funktionsbeschreibung
Thermodynamischer Wasser-Dampf-Kreislauf	Interaktiv mit Software-schnittstelle	ActiveX	Der zentrale Prozess jedes thermischen Kraftwerkes. Mit interaktiven Para-metern.
Gay-Lussac'scher Drosselversuch	Interaktiv mit Software-schnittstelle	ActiveX	Das Verhalten von Gasen bei der Entspannung nach einer Gasdrossel wird in einer Animation dargestellt.
Wärmekraftmaschinen	Interaktiv mit Software-schnittstelle	ActiveX	Ein interaktives Diagramm, das verschiedene Zeitabhängige Parameter einer Wärmekraftmaschine (Druck, Kammervolumen) in Abhängigkeit von verschiedenen interaktiv variierbaren Parametern (Hubraum, Energiefluss) darstellt.
Animationen zur Funktionsweise von Wärmekraftmaschinen	Nicht-interaktiv	AVI + anim. GIF	Gibt die Funktionsweise (Raum- und Zeitverhalten) einer Wärmekraft-maschine durch eine computergene-rierte perspektivische Darstellung wieder
Wärmeleitung / k-Wert	Interaktiv mit Software-schnittstelle	ActiveX	Beschreibt den Mechanismus der Wärmeleitung, den Übergangs-widerstand zwischen verschiedenen Medien, und leitet den Wärmedurch-gangskoeffizienten k her.
Schwarzer Strahler	Interaktiv mit Software-schnittstelle	ActiveX	Beschreibt die temperaturabhängige Strahlung ideal und nicht ideal schwarzer Körper in einem interaktiven Diagramm
Dokumentation zum schwarzen Strahler	Nicht-interaktiv	HTML / RTF	Beschreibt die temperaturabhängige Strahlung, stellt lebensweltliche Zusammenhänge dar, und beschreibt die historischen Zusammenhänge.
Wärmekraftmaschine-Kältemaschine	Interaktiv	ActiveX	Eine interaktive Animation, die zeigt, dass durch kleine Änderungen eine Wärmekraftmaschine dazu gebracht werden kann, als Kältemaschine (bzw. Wärmepumpe) zu arbeiten.

Der Umfang des Projektes hätte es nahe gelegt, für die Entwicklungsarbeiten einen oder zwei entsprechend qualifizierte wissenschaftlicher Mitarbeiter einzustellen. Von diesem Weg wurde in Duisburg bewusst abgesehen.

Hintergrund dazu war nicht allein der wohlbekannte Mangel an qualifizierten Programmierern; bestimmend war vielmehr, dass unter den Studenten der Fächer Didaktik der Physik und Technologie und Didaktik der Technik ein hohes Potential an Kreativität, analytischem und synthetischem Denken und grundlegenden Programmierkenntnissen auszumachen war.

Dies führte schnell zu der Idee, statt nur einen Teil des wissenschaftlichen Personals einen wesentlich größeren Teil der Studierenden im Rahmen des Projektes für Arbeiten im Bereich der Softwareentwicklung zu qualifizieren.

Abbildung 54: Die Hauptlast der Programmiertätigkeit wird von Studierenden der Lehramtsstudiengänge Physik und Technik getragen. Damit wird gezielt die Gestaltungs- und Anwendungskompetenz im Bereich neuer Lernmedien gefördert.

Die Koordination der Arbeiten im Projekt COLEEN übernahm ein Projektmanager (Bresges), der für die Verteilung der Aufgaben an die studentischen Hilfskräfte, die Abstimmung der Arbeiten untereinander, die Definition der Softwareschnittstellen der Softwarekomponenten und den Ablauf der formativen Evaluation in den Seminaren und den angeschlossenen Praktikumsschulen zuständig war. Die Studierenden hatten völlig unterschiedliche Eingangsvoraussetzungen und wurden in den ersten Wochen in der Regel on-the-job für ihre Aufgabe trainiert. Je nach Neigung entwickeln sie dabei Schwerpunkte im Bereich der Modellprogrammierung, der Sachanalyse, der Bild- oder der Videoschnittbearbeitung.

Der Projektteil am Standort Duisburg wurde von einer Lenkungsgruppe, bestehend aus Herrn Prof. Harreis, Herrn Prof. Treitz und mir geführt. Externer Kooperationspartner des Projektes war die Willy-Brandt-Schule, Gesamtschule der Stadt Mülheim an der Ruhr (Herr Klatte) und das Helmholtz-Gymnasium Essen (Herr Nowak). Der Einsatz und die Erprobung der Komponenten im naturwissenschaftlichen und technischen Unterricht der Willy-Brandt-Schule dient dem Nachweis der Übertragbarkeit auf den Unterricht allgemeinbildender Schulen, wobei die Softwareumgebung der Komponenten den Unterrichtsbedingungen und Unterrichtsvoraussetzungen angepasst werden kann. Die Ansprechpartner der angeschlossenen Schulen begleiten das Projekt gleichzeitig als Qualitätspaten.

Entwicklungsablauf einer Lernsoftwarekomponente (Duisburg)

Der Entwickler entscheidet sich für einen Gegenstand aus den oben genannten Themenbereichen und führt eine qualifizierte Sachanalyse einschließlich Literaturerhebung durch.

Er stellt vor der Lenkungsgruppe seine Auswahl dar und beleuchtet dabei die Gegenwarts-, die Zukunfts-, und die exemplarische Bedeutung des Gegenstandes.

Entwickler und Lenkungsgruppe erarbeiten gemeinsam die charakteristischen Eigenschaften, Zustände und Verhaltensweisen des physikalischen Modells und prüfen, ob diese mit den gegebenen Werkzeugen modellierbar und intuitiv-verständlich darstellbar sind.

Der Entwickler setzt das Modell in eine Lernsoftwarekomponente um, wobei ihm größter gestalterischer Freiraum eingeräumt wird. Lenkungsgruppe und Qualitätspate betreuen die Entwicklung in Hinblick auf die Einsetzbarkeit in der in Schule und Hochschule gegebenen Bedingungen.

Der Entwickler betreut seine Komponente im Rahmen ihrer Evaluationszeit. Die Evaluationszeit beinhaltet Einsätze in Veranstaltungen der Schule, der Hochschule, und Unterrichtsversuchen im Rahmen studentischer Schulpraktika. Von den Durchführenden wird eine Dokumentation des Einsatzes mit eingehender Kritik des Mediums erwartet. Die Aufgabe des Entwicklers bei der Evaluation beschränkt sich auf technische Betreuung. Auf diese Weise findet eine deutliche Trennung zwischen Entwickler und Anwender/Evaluator sowie Rezipient statt, mit entsprechend verbesserter Objektivität des Evaluationsergebnisses.

5.2.5 Besonderheiten beim Management der Softwareentwicklung

Die Komplexität der behandelten Themen sowie der besondere Charakter objektorientierter Softwareentwicklung in einem Team aus Programmierern mit stark heterogenen Voraussetzung, das zudem noch durch eine starke Personalfluktuation geprägt ist - die Hilfskraftsverträge im Projekt werden prinzipiell nur semesterweise geschlossen - brachte erhöhte Ansprüche an das Projektmanagement mit sich.

Schnell wurde deutlich, dass für die Steuerung des Projektes auf etablierte Werkzeuge des Projektmanagementes zurückgegriffen werden musste. Hierzu fiel nach einer eingehenden Beobachtung der derzeitigen Entwicklung die Entscheidung zur Einführung der Unified Modeling Language (UML) in die Projektarbeit. Die UML wurde im Verlaufe der Projektlaufzeit kontinuierlich an die Bedürfnisse der Lehrerausbildung angepasst und mündete damit in der in dieser Arbeit vorgestellten didactical UML (dUML).

5.2.6 Ziele beim Einsatz komponentenorientierter Lernsoftware

Bewusst wurde darauf verzichtet, die Komponenten schon als Projektbestandteil in eine geschlossene Anwendung, d.h. in eine fertige Lernsoftware zu überführen. Statt dessen wird den Studierenden in Vorlesungen und Seminaren die Integration der Komponenten als Beispiel für die zielgerichtete und reflektierte Anwendung neuer Medien vermittelt.

Grundlage bieten Überlegungen zum Einsatz von Unterrichtsmedien, die auf die "Berliner Schule" von Wolfgang Otto, Wolfgang Schulz und Paul Heimann[124] zurückgehen und von Wolfgang Klafki in seinen neuen Studien zur Bildungstheorie und Didaktik[125] aufgegriffen wurden.

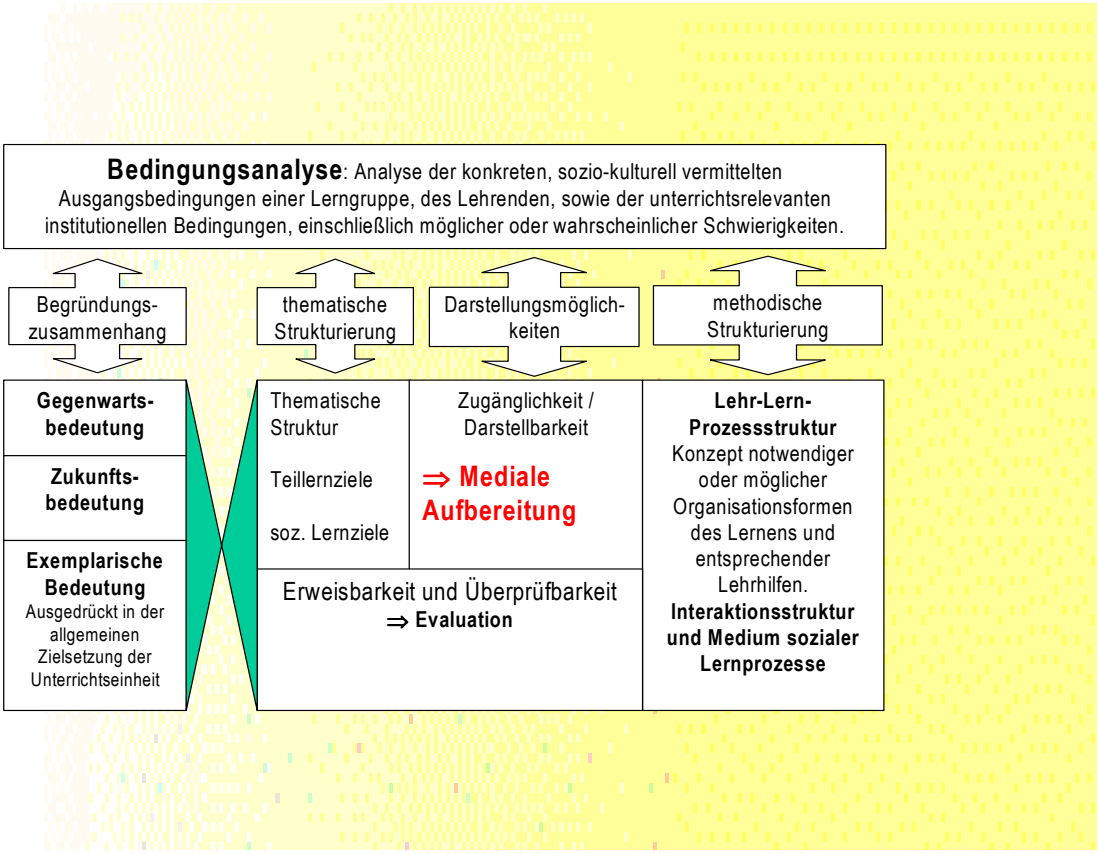


Abbildung 55: der einzubeziehende Kontext eines Medieneinsatzes (in Anlehnung an W. Klafki).

Deutlich sichtbar ist hier, dass der Einsatz eines Mediums erst ein sehr später Schritt in einer Kette didaktischer Entscheidungen ist, die ihrerseits erst auf der Grundlage einer eingehenden Analyse der Lerngruppe und ihrer Ausgangsbedingungen möglich sind. Damit wird bereits deutlich, dass die Erstellung des Konzeptes eines "neuen Mediums" wie einer Lernsoftware fern von der angepeilten Zielgruppe eigentlich ein Kompromiss ist. Das Projekt COLEEN stellt den Versuch dar, die finale Zusammenstellung des Lernmediums mitsamt der Anpassung an die Lerngruppe auf die Betreuer der Lerngruppe und damit näher an den Einsatzort zu übertragen.

Die komponentenorientierte Softwareentwicklung liefert hierbei die Möglichkeit, besonders erfolgskritische und anspruchsvolle Aufgaben wie die eingehende Sachanalyse, die Bildung physikalischer Modelle und die Formulierung von Abhängigkeiten unter hohem Qualitäts-

---

[124] Heimann, P.; Otto, G.; Schulz, W.: Unterricht – Analyse und Planung, Hannover: Schroedel Schulbuchverlag, 10. Auflage 1979.

[125] Klafki, W: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 5. Auflage 1996.

anspruch in den Fachdidaktiken der Universitäten durchzuführen. Diese Aufgabenteilung wird unserer Meinung nach den Ansprüchen einer modernen offenen Schulbildung in besonderem Maße gerecht.

5.2.7 Jahr 2000: Erprobung im Seminar "Neue Medien im naturwissenschaftlichen und technischen Unterricht"

Nach der Veröffentlichung einer Komponente in der Datenbank des Informationssystems soll die Eignung der Komponente für die Bereiche

- Einsetzbarkeit als Lernmittel für Studierende in Vorlesungen und Seminaren der Hochschule und
- Einsetzbarkeit als Lehrmittel im Unterricht, insbesondere für den Einsatz bei Lehramtsstudierenden während ihrer Unterrichtsversuche im Rahmen der schulpraktischen Studien

geprüft werden. Dies erfolgt im Rahmen der gemeinsamen Veranstaltung "Neue Medien im naturwissenschaftlichen und technischen Unterricht" der Fächer Didaktik der Physik und Technologie und Didaktik der Technik.

Neue Medien im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht

Horst Harreis - Norbert Treitz - André Bresges
Seminar 2 Std. - Do, 14-16 Uhr im MG 256

	Gegenstand	Referent	Unterstützung
13.4.2000	Vorbesprechung Einführung PowerPoint	André Bresges	Marc-André Wolf Tobias Bauer Stefan Hoffmann Stefan Fletcher Markus Pötter Christian van gen Hassend
20.4.2000	Modellbildung in der Physik	Prof. H. Harreis Prof. N. Treitz	
27.4.2000	Grundschaltungen der Elektrotechnik mit BELSoft	Michael Anderl	Martin Lentz lentz@uni-duisburg.de
3.5.2000 (Mittwoch)	Multimedia: wo sich Technik und Didaktik begegnen (Uni-Colleg, empfohlen)	Prof. A. Hunger	Uwe Brockmann André Bresges
4.5.2000	Einführung in die Programmiersprache Visual Basic	André Bresges	Marc-André Wolf Tobias Bauer Stefan Hoffmann Stefan Fletcher Markus Pötter Christian van gen Hassend
11.5.2000	Effekte beim Wärmetransport in Materialverbünden und Wärmetauschern	Claudia Feldhüsen	Stefan Fletcher Stefan.Fletcher@cityweb.de
18.5.2000	Fällt aus wegen: Workshop Universitätsverbund Multimedia, Infos: http://www.uvm.nrw.de/		
25.5.2000	Ausgewählte Beispiele zur Modellbildung in der Biologie	Stefan Busch Heiko Borchardt	Prof. H. Harreis Prof. N. Treitz
1.6.2000	Fällt aus: Christi Himmelfahrt		
8.6.2000	Strukturierte Analyse und Beschreibung von Systemen mit der Unified Modeling Language UML	Markus Rehbach	André Bresges
15.6.2000	Schaltungen mit Operationsverstärkern	Dirk Buddenkotte	Marc-André Wolf
22.6.2000	Fällt aus: Fronleichnam		
29.6.2000	Optimierungsmöglichkeiten am Modell eines Kraftwerksprozesses	- nicht belegt -	André Bresges Martin Lentz
6.7.2000	Fällt aus: Berufungsvortrag MG257	Frau Friedrich	Alle Studenten
13.7.2000	Einführung in den Videoschnitt mit Adobe Premiere		André Bresges Stefan Hoffmann Christian v.g. Hassend Marc-André Wolf

Ziel des Seminars ist, die Entwickler der Lernsoftware mit Ihren Anwendern in Verbindung zu bringen. Die Teilnehmer mussten zur Erlangung einer Teilnahmebescheinigung die Anwendung einer Lernsoftwarekomponente vor der Seminargruppe präsentieren, wobei die Präsentation unter dem Einsatz neuer Medien erfolgt. Hierzu standen den Studenten die Präsentationssoftware PowerPoint, alternativ HTML-Programmierung, ein PC und ein Videoprojektor zu Verfügung.

Weiterhin wurde jedem Studierenden, der eine Komponente zu präsentieren hatte, der Entwickler der Komponente zur Seite gestellt. Der Entwickler sollte den Studenten:

- bei der Installation der Software,
- beim Einstieg in die Bedienung und
- bei der Integration in PowerPoint

beratend zur Seite stehen. Dabei lernt der Entwickler eventuelle Probleme der Komponente kennen, die von Benutzerseite aus deutlich werden, und kann im Rahmen der Weiterentwicklung reagieren. Die Präsentationsdateien wurden im Anschluss auf dem Internetserver gespeichert und sind somit allgemein zugänglich. Sie sollen so ausführlich gestaltet werden, dass sie zum Selbststudium geeignet sind.

Die Präsentation soll folgende Themen berücksichtigen:

- Sachanalyse des Gegenstandsbereiches,
- Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes der Lernsoftwarekomponte zur Vermittlung des fachlichen Hintergrundes im Seminar am praktischen Beispiel,
- Gedanken über Szenarien zum Einsatz der Lernsoftwarekomponente im Unterricht.

Im Anschluss wurde allen Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, im Rechnerraum selbstständig mit den Komponenten zu arbeiten. Daran anschließend erfolgte eine Befragung aller Teilnehmer, einschließlich der Vortragenden, mit der Bitte um eine Bewertung der Komponente. Teilweise wurde die Befragung schriftlich in Form eines standardisierten Fragebogens durchgeführt.

Die Ergebnisse der Präsentation und der Befragung wurden in einer anschließenden Mitarbeiterbesprechung aufgearbeitet. Hierbei wurde insbesondere der jeweilige Entwickler um eine Darstellung und Bewertung seiner Wahrnehmung gebeten.

5.2.7.1 Seit 2001: geregelter Einsatz in den Lehrveranstaltungen

Seit 2001 befindet sich die COLEEN-Datenbank mit den in ihr enthaltenen Komponenten im geregelten Einsatz. Am Beispiel der Lehrveranstaltung „Energieumsatz in technischen Systemen I (mechanische und thermische Energie)“ soll das Einsatzmuster erläutert werden.

Die Veranstaltung „mechanische und thermische Energie“ ist im Hauptstudium des Studienfachs Technik eingeordnet und gilt dort als wesentliche Pflichtveranstaltung. Sie bildet eine Kombination aus Seminar- und Laborbetrieb; die Lehramtsstudenten sollen hier dazu qualifiziert werden, komplexe technische Experimente angemessen vorzubereiten, ihren technischen und physikalischen Hintergrund darzustellen, den Versuch mit Schülern zusammen durchzuführen und eine korrekte Auswertung des Versuches anzuleiten.

Die Softwarekomponenten sind hier ideal geeignet, um die Arbeit der Gruppe zu unterstützen. Bei der Themenvergabe werden dem Referenten nun, zusätzlich zu den experimentellen Aufbauten, die passenden Softwarekomponenten anvertraut. Dies kann die Sammlung der Komponenten zur Messtechnik sein, wenn er entsprechende Details seines Aufbaus erläutern will, oder Komponenten aus dem Themenbereich Thermodynamik, die die grundlegenden Vorgänge darstellen.

In unserem Beispiel hat der Referent sich für die Bearbeitung des Themas „Stirlingmotor“ entschieden. Das wissenschaftliche Labor verfügt über einen entsprechenden Demonstrationsmotor der Firma Leybold; aufgrund seiner Größe ist dieses Gerät fest im Labor aufgebaut und steht nur an dieser Stelle für Experimente zur Verfügung. Die passende Komponente dazu ist das Software-Modell dieses Stirlingmotors, das die Variation der gleichen Parameter wie beim Originalmodell (Temperatur, Drehzahl) und dazu noch einiger zusätzlicher Parameter (Hubraum, Verdichtungsverhältnis) zulässt.

5.2.7.2 Erste Phase: Sachanalyse

Der Referent kann nun einen Vortrag vorbereiten, den er durch HTML oder Power-Point unterstützt. Die Komponenten lassen sich bis jetzt problemlos sowohl in die eine als auch in die andere Präsentationstechnik integrieren. Die meisten Referenten zentrierten ihren Vortrag stark um die vorhandene Komponente, wobei sie den Einfluss der verschiedenen Variablen durch Variation der Parameter in der Software erklärten. Zur Demonstration der gleichen Inhalte am Realversuch muss regelmäßig zunächst die Sozialform aufgelöst und der Weg in das benachbarte Labor angetreten werden; dort stehen dann wiederum nicht die gleichen guten Präsentations- und Diskussionsmöglichkeiten zur Verfügung wie im Vortragsraum.

Die Referenten äußerten sich daher positiv darüber, dass ihnen die Softwarekomponenten wesentlich mehr Freiheit beim Aufbau des Vortrages ermöglichen.

Abbildung 56: Ein Referent nutzt eine COLEEN-Komponente zur Unterstützung seines Vortrages.

5.2.7.3 Zweite Phase: Versuchsdurchführung

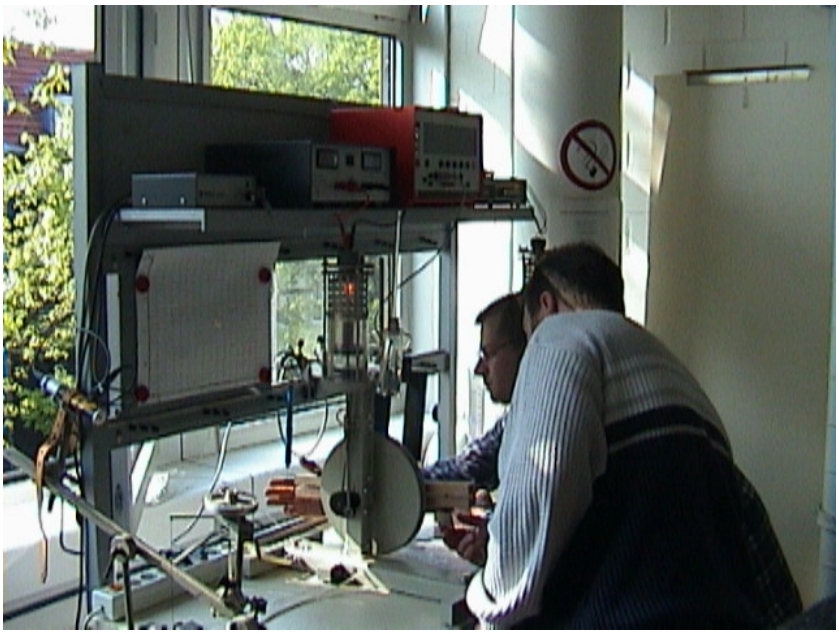


Abbildung 57: Nachdem sie durch den Vortrag mit der enthaltenen Komponenten instruiert worden sind, bedienen die Studenten gezielt den Experimentalaufbau. In der Mitte der beheizte Glaszylinder des Stirlingmotors.

Im Anschluss an den Vortrag werden zunächst Fragen gesammelt. In der Regel wechselt die Lerngruppe nun ins benachbarte Labor, wo der Referent die am Experimentalaufbau durchzuführenden Schritte und die erforderlichen Messpunkte zeigt. In der folgenden Experimentalphase ist der Referent angehalten, sich zurückzuziehen und die Qualität seiner Instruktion anhand der Aktionen seiner Studenten zu beurteilen. Im späteren Berufsalltag wird er auf ähnliche Weise die Experimente seiner Schüler leiten und beaufsichtigen.

5.2.7.4 Dritte Phase: Auswertung

Im Anschluss an die Aufnahme der Messwerte begibt sich die Lerngruppe wieder zurück ins Plenum, wo gemeinsam die Auswertung der Messreihen stattfindet. Bei der Auswertung der gemessenen Werte wird vielfach noch einmal auf die Softwarekomponenten zurückgegriffen, weil zahlreiche Fragen - erwartungsgemäß - erst bei der Arbeit am konkreten Gegenstand auftreten. Vielfach dient die Komponente auch dazu, die Plausibilität der gemessenen Werte erst einmal zu prüfen. Hier ist es umso besser, je umfangreicher und vollständiger das Modell gestaltet wurde. Mit vollständigen Modellen, die gegebenenfalls auch die Kombination „unsinniger“ Werte ermöglicht, lassen sich auch „was-wäre-wenn-Fragen“ am Modell diskutieren.

5.2.7.5 Vierte Phase: Nachbereitung

Die Studentinnen und Studenten müssen zusätzlich zum Vortrag und zur Versuchsdurchführung eine geeignete Darstellung des Sachverhaltes zusammen mit den Messwerten und der Auswertung abgeben. Im Jahr 2001 konnte diese zum ersten mal durch eine elektronische, zum selbstgesteuerten Lernen geeignete Darstellung im geeigneten Format ersetzt werden.

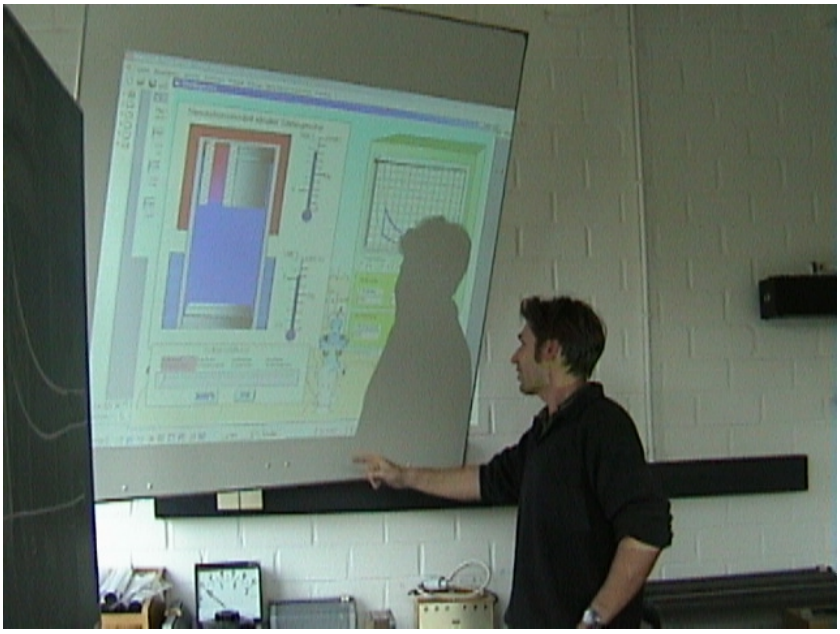


Abbildung 58: Der Dozent greift an dieser Stelle ein, um mit Hilfe der Computersimulation noch einmal das Zusammenwirken von Hubraum, Verdichtung und Wirkungsgrad zu erläutern.

Abbildung 59: Im Anschluss an seinen Vortrag hat der Referent eine schriftliche Ausarbeitung abzuliefern. Wird diese im HTML-Format erstellt, kann er auf alle Komponenten zugreifen und diese als interaktive Elemente in seine Ausarbeitung einbinden. Die Ausarbeitung wird mit in die COLEEN-Datenbank integriert.

Hierzu wurde von den Studentinnen und Studenten im Regelfall der PowerPoint oder HTML-Vortrag entsprechend erweitert, wobei die Komponente an ihrem Platz blieb. Damit entsteht langfristig um jede Komponente herum eine Sammlung von Ressourcen, die die Komponenten und ihre fachwissenschaftliche Einordnungen aus verschiedenen Perspektiven beleuchten.

5.3 Zweiter Teil: Schulversuch „Objektorientierter Modellbildung im Physikunterricht“

5.3.1 Planung des Schulversuches

5.3.1.1 Theoretische Grundlagen / Untersuchungsmodell

Ob der Prozess der Objektorientierten Modellbildung selbst ein lernhaltiger Vorgang ist, und wie sich beim Vorgang der Objektorientierten Modellbildung kognitive Strukturen bei den Durchführenden (und nicht bei den Rezipienten einer daraus entstehenden Lernsoftware) ausprägen, wurde in der wissenschaftlichen Literatur bis jetzt noch nicht als eigener Schwerpunkt empirisch untersucht. Catherine Bishop-Clark hat aber 1995 eine Meta-Erhebung über zwischen 1960 und 1995 durchgeführte Untersuchungen veröffentlicht[126], die den Zusammenhang zwischen der kognitiven Struktur eines Menschen und seinen internen Vorgängen bei der Modellbildung und Problemlösung im Zusammenhang mit Programmieraufgaben zum Thema hatten. Zahlreiche Studien nutzen die zur Untersuchung und Förderung des Problemlösungsverhaltens bei Jugendlichen von Prof. Seymour Papert entwickelte Programmiersprache LOGO, die jedoch noch nicht dem Objektparadigma entspricht. Neben den gefundenen starken Unterschieden der persönlichen Lern- und Leistungsfähigkeit bei den untersuchten Personengruppen betont Bishop-Clark eine Reihe von Unterschieden der persönlichen und kognitiven Strukturen. Typische Gegensatzpaare sind demnach:

„Analytisches Vorgehen“ gegenüber „**holistisches Vorgehen“**

Analytisch vorgehende Programmierer nutzen gerne strukturierte Vorgehensmodelle, wie das in der vorliegenden Arbeit dargestellte, um ihre Entscheidungen zu treffen und die Komplexität einer neuen Problemstellung auf eine Reihe lösbarer Teilprobleme zurückzuführen. Holistische Programmierer verlassen sich stärker auf ihre Intuition und Kreativität im Umgang mit Problemen. Vielfach finden gerade diese Personen neuartige Zugänge zu Problemlösungen. In einer Reihe von Studien[127] [128] [129] [130] wurde versucht, ein

---

[126] Bishop-Clark, C.: Cognitive Style, Personality, and Computer Programming. In: Computers in Human Behavior, Vol. 11, No. 2. USA: Elsevier Science Ltd., 1995. Seite 241ff.

[127] Bradley, C.: The relationship between student’s information processing styles and LOGO programming. In: Journal of Educational Computing Research 1, 1985. Seiten 427-433.

[128] Cheney, P.: Cognitive style und student programming ability: An investigation. In: AEDS Journal 13, 1980. Seite 285-291.

[129] Webb, N.: Microcomputer learning in small groups: Cognitive requirements and group process. In: Journal of educational Psychology 76, 1984. Seite 1076.

Zusammenhang zwischen dem kognitiven Stil und dem Grad der Problemlösungskompetenz empirisch zu ermitteln. Während die Studien von Webb keinen signifikanten Vorteil für einen der kognitiven Stile ausmachen konnte, fand Bradley ebenso deutliche Vorteile für den holistischen Stil wie Cheney für den analytischen Stil. Es kann also aus den empirischen Studien kein eindeutiges Urteil über das pro und contra der kognitiven Stile gefällt werden.

„Abhängigkeit“ gegenüber „**Unabhängigkeit“** zum betrachteten **Problemfeld**

Programmierer mit einer gewissen Unabhängigkeit zum Problemfeld tendieren eher dazu, das entweder faktisch oder in ihrer Wahrnehmung unstrukturierte Problemfeld selbst mit einer unabhängigen Struktur zu Versehen. Feld-Abhängige Programmierer dagegen lassen sich in starkem Maße vom Problemfeld beeindrucken, sie „denken sich in das Problem hinein“ und übernehmen die Struktur des Problemfeldes in ihr eigenes Problemhandeln.

Eine Reihe von Studien beobachteten, ob Schüler bei der Lösung von Problemen mit Hilfe der Programmiersprache LOGO beginnen, einen höheren Grad an Abhängigkeit zum gegebenen Problemfeld oder genereller eine stärkere Tendenz zur Unabhängigkeit von Problemfeldern entwickeln. Mehr[131] oder weniger[132] deutlich stellte sich heraus, dass Erfahrungen im Umgang mit LOGO zu einem höheren Grad an Unabhängigkeit von Problemfeldern führt.

„Impulsivität“ gegenüber „**Reflektivität“**

Bei Untersuchungen zur Ausprägung einer Persönlichkeit innerhalb dieses Gegensatzpaares wird unterschieden, wie die Personen in Situationen mit zahlreichen Handlungsalternativen vorgehen. Während impulsive Menschen dazu neigen, sich schnell für eine naheliegende Handlungsalternative zu entscheiden und die damit verbundene Handlung unverzüglich durchführen, verwenden reflektive Menschen einen erhöhten Zeitanteil damit die Konsequenzen der verschiedenen Handlungsalternativen zu durchdenken und abzuwägen. Die Fähigkeit, Konsequenzen einer antizipierten Handlung abzuschätzen und so zur Grundlage eigener Planung zu machen, ist aber eng mit der inneren Modellbildung verknüpft.

Die verschiedenen Studien[133] [134] [135] [136] zeigen sehr deutlich, dass mit der Erfahrung als Programmierer der Grad des reflektiven und abschätzenden Verhaltens zunimmt und der Grad

---

[130] Webb, N.: Cognitive Requirements of learning computer programming in group and individual settings. AEDS Journal 18 (3). Seite 183-193.

[131] Cathcart, W.: Effects of LOGO instruction on cognitive style. In: Journal of Educational Computing Research 6, 1990. Seite 242.

[132] Mohamed, M.: The effects of learning LOGO computer language upon higher cognitive processes and the analytic/global cognitive styles of elementary school students. Doktorarbeit an der Universität Pittsburgh. In: University of Ohio (Hrsg.): Dissertation Abstracts International.

[133] Alspaugh, C.: Identification of some components of computer programming aptitude. In: Journal of Research in Mathematics Education 3. Seite 89 ff.

[134] VanMerrienboer, J.: Relationship between cognitive learning style and achievement in an introductory computer programming course. In: Journal of Research on Computing in Education 29, 1988. Seite 181ff.

des impulsiven Verhaltens abnimmt. Ließe sich diese Verhaltensänderung nicht nur im engeren Kontext von Informatik und Programmierung nachweisen, sondern auf das generelle Problemlösungsverhalten z.B. im Physik- oder Technikunterricht übertragen, so wäre das nicht ohne Konsequenzen für die Fachdidaktiken technischer und naturwissenschaftlicher Fächer. Das Vermitteln von Programmierkenntnissen zur Stärkung der Modellbildungskompetenz könnte sich in einer wissenszentrierten Gesellschaft mit komplexen Strukturen sogar zu einer wichtigen Maßnahme zur Persönlichkeitsbildung, und damit zur einer zentralen Aufgabe allgemeinbildender Schulen entwickeln.

„Konvergentes“ gegenüber „**divergentes“** Denken

Konvergentes Denken folgt dem Bemühen, zu einer (und genau einer) Lösung zu kommen. Divergentes Denken wird von verschiedenen Autoren mit kreativem Denken gleichgesetzt[137]. Hierbei ist das gegebene Problem Auslöser eines Denkprozesses, der in verschiedene Richtungen geht und zu einer Reihe unterschiedlicher Lösungen führt, aus denen in einem nachfolgenden Vorgang dann realisierbare Lösungswege ausgewählt und unbrauchbare eliminiert werden können[138].

Untersuchungen fanden mehr oder weniger deutlich eine positive Korrelation zwischen dem Grad der Programmiererfahrung und dem Anteil divergenten Denkens. Die Verallgemeinerbarkeit dieser Ergebnisse wird von einigen Autoren aber als eingeschränkt angesehen[139], da die einschlägigen Studien ausschließlich mit LOGO durchgeführt wurden.

Die oben angeführten Unterschiede der kognitiven Strukturen machen es schwierig, ein einheitliches Modell für die internen Vorgänge von Jugendlichen oder Erwachsenen beim Lösen von Programmierproblemen zu finden.

---

[135] Cathcart 1990. Seite 231ff.

[136] Clements, D.; Gullo, D.: Effects of computer programming on young children’s cognition. In: Journal of Educational Psychology 76. 1051ff.

[137] Mayer, R.: Thinking, problem solving, cognition. New York: W. H. Freeman and Company, 1983.

[138] Vgl. Ausführung zum “Brainstorming“ in VDI 19226.

[139] Bishop-Clark 1995. Seite 247.

Die externen und beobachtbaren Handlungen bei Programmiertätigkeiten lassen sich dagegen in der Regel in ein Phasenschema einordnen. In der Literatur gebräuchlich[140] ist eine Aufteilung des Programmierprozesses in die Stufen:

1. Problemrepräsentation
2. Design des Softwaresystems
3. Erstellung des Quelltextes
4. Prüfung und Fehlersuche (sogenanntes „Debuggen“)

Diese Aufteilung ist offensichtlich unabhängig von den Persönlichkeitsmerkmalen des Programmierers. Eine gewisse Ähnlichkeit zur bereits beschriebenen „vollständigen Handlung“ besteht in der Antizipation der Handlung (Problemrepräsentation), der Planung und der an die Durchführung anschließenden Reflektion (Prüfung und Fehlersuche)[141]. Man könnte daher auch die Programmiertätigkeit als eine vollständige Handlung beschreiben.

5.3.1.2 Geplante Versuchsdurchführung

An die Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung im Physikunterricht werden folgende Ansprüche gestellt:

- Das methodische Vorgehen in der Unterrichtsreihe soll den wesentlichen Eckpunkten der objektorientierten Modellbildung folgen:
  1. Objektorientierte Analyse eines vorhandenen Systems
  2. Mediendidaktische Konzeption
  3. Medien-Produktion
  4. Einsatz und Überprüfung
- Konsequenterweise soll am Ende der Unterrichtsreihe ein **Produkt** stehen, hier in Form eines an der Realität geprüften **Software-Modells** der gleichförmigen und beschleunigten Bewegung von Gegenständen im Schwerefeld der Erde.
- Die Unterrichtsreihe soll konform zu den Richtlinien der betreffenden Schulstufe sein.

---

[140] Pennington, N.: Cognitive Components of expertise in computer programming: A review of the literature. Tech. Rep. No. 46: University of Michigan Center for Cognitive Science, Ann Arbor, MI 1982.

[141] Wobei die Fehlersuche beim Programmieren wie in keinem anderen Handwerk ein integraler Bestandteil des Produktionsprozesses ist, wie jeder, der ein wenig Programmiererfahrung hat bestätigen wird.

- Der Kenntnisstand der vermittelten physikalischen Inhalte soll bei den Schülern der Versuchsgruppen mindestens vergleichbar mit dem Kenntnisstand der Vergleichsgruppen sein.

- Der Bezug zum realen Experiment und zur gegenständlichen Bedeutung der Attribute des Software-Modells muss zu jedem Zeitpunkt erhalten bleiben. Auf keinen Fall darf ein Software-Modell von den Schülern als Träger der „absoluten Wahrheit“ interpretiert werden. Im Gegensatz sollen die Schüler dazu angehalten werden, Software-Modelle kritisch zu hinterfragen und Modellvorstellungen generell als mit Grenzen behaftet wahrzunehmen.

Zeitliche Planung des Unterrichtsversuches:

Herbst 2000:
- Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe
- Regelunterricht in den Vergleichsgruppen
- explorative vergleichende Untersuchung

Winter 2001:
- Auswertung der vergleichenden Untersuchung
- Identifikation typischer Merkmale des Unterrichtes mit Objektorientierter
- Modellbildung
- Versuch der Deutung mit Hilfe von Interviews in der Laborgruppe

Frühjahr 2001:
- Planung des Feldversuches auf der Grundlage der gefundenen Ergebnisse

Beginn der Sommerferien:
- Kick-off-Meeting mit den am Feldversuch teilnehmenden Lehrern
- Austeilen der Versuchsunterlagen und der Lehrermedien

Herbst/Winter 2001:
- Feldversuch mit Hospitationen durch Versuchsbetreuer

Frühjahr 2002:
- Auswertung des Feldversuches

Sommer 2002:
- Projektabschlussmeeting mit den beteiligten Lehrern, Präsentation der Ergebnisse

5.3.1.3 Bedingungsanalyse: Labor-Lerngruppe

Bei der im Pilot-Projekt Lerngruppe handelt es sich um 24 Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 10. Sie bilden zusammen einen Erweiterungskurs Physik; das heißt, die Schüler haben sich in der Jahrgangsstufe 8 durch mindestens befriedigende Leistungen in

Physik für die Teilnahme an diesem Kurs qualifiziert, und den Kurs dazu als ihren Erweiterungskurs (im Gegensatz zum Grundkurs) gewählt. [142]

Zusammen mit ihren Kursleistungen in den nicht-naturwissenschaftlichen Fachgebieten gibt die Teilnahme am Physik E-Kurs den Schülern die Möglichkeit, sich für den Zugang zur gymnasialen Oberstufe zu qualifizieren, d.h. den Abschluss FOR(Q), FachOberschulReife (Qualifiziert), zu erhalten.

Es ist daher mit einer Lernmotivation zu rechnen, die über der des normalen Pflichtkurses (G-Kurs) Physik in der gleichen Jahrgangsstufe liegt. Gleichzeitig kann man aufgrund der Lernvorgeschichte der Schüler, die schließlich zur Qualifikation für den E-Kurs geführt hat, mit etwas besser ausgeprägtem mathematischen Verständnis und besser verankertem physikalischen Vorwissen aus der Jahrgangsstufe 8 rechnen.

Diese Unterschiede sind aber gradueller Art; im übrigen muss man mit der für Gesamtschulen typischen hohen Heterogenität der Lerngruppe rechnen. Dies macht eine anspruchsvolle Binnendifferenzierung notwendig.

5.3.1.4 Bedingungsanalyse: Vergleichsgruppe

Bei der Vergleichsgruppe handelt es sich ebenfalls um zwei E-Kurse der gleichen Gesamtschule mit insgesamt 28 Schülern. Die beiden Kurslehrer führen ihren Unterricht parallel zum Unterricht der Labor-Lerngruppe durch. Sie richten sich dabei weitgehend nach dem Lehrbuch (Cornelsen CVK Physik für die Jahrgangsstufe 9/10). Der Unterricht der beiden Lehrer ist reich an physikalischen Experimenten.

Für die Lerngruppe der beiden E-Kurse gilt im übrigen das für die Labor-Lerngruppe bereits gesagte.

5.3.1.5 Bedingungsanalyse: Feldversuchsgruppen

Im Feldversuch sollten die bei der Laboruntersuchung gewonnenen Erkenntnisse mit einer größeren Stichprobe von Schülern und einer Bandbreite von Schulformen und Jahrgangsstufen überprüft und untermauert werden. In einem derart breit angelegten Feldversuch lassen sich naturgemäß, im Vergleich zu den Labor- und Vergleichsgruppen, wesentlich weniger Einflussfaktoren kontrollieren. Daher sollen im folgenden lediglich die grundlegenden Sozialdaten dargestellt werden.

---

[142] Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Bereinigte Amtliche Sammlung der Schulvorschriften des Landes Nordrhein-Westfalen, Ausgabe 2001/02, Frechen: Verlagsgesellschaft Ritterbach, 2001. Teil III: Rechtsverordnungen/Erlasse: Kapitel 13: Ordnung der Ausbildungsgänge in der Sekundarstufe I, 6. Abschnitt: Besondere Bestimmungen für die Gesamtschule, § 19 Unterrichtsorganisation, Wahlpflichtunterricht, Fachleistungsdifferenzierung; VV zu § 19: 19.2.1.

Es handelt sich um insgesamt 149 Schülerinnen und Schüler aus den **Schulformen**

- Realschule (19)
- Gesamtschule (69)
- und Gymnasium (71).

Dabei waren

- 43 Schüler aus der **Jahrgangsstufe 11** (23 Gesamtschule, 20 Gymnasium)
- und die übrigen 106 aus der **Jahrgangsstufe 10** (19 Realschule, 46 Gesamtschule, 51 Gymnasium).

Das Durchschnittsalter betrug 16,02 Jahre (-1/+2) bei einer Standardabweichung von 0,83 Jahren.

Geschlechterverteilung: in den Lerngruppen des Feldversuches befanden sich 70 Mädchen und 79 Jungen. Die Geschlechterverteilung ist damit erfreulich ausgeglichen; dies ist vor allem ein Verdienst der gewählten Jahrgangsstufen. Unter den 6 verschiedenen Lehrkräften im Feldversuch waren 2 Frauen.

Mathematische Leistungen: von den 149 Schülerinnen und Schülern haben 101 entweder an einem Mathematik-Erweiterungskurs einer Gesamtschule oder am Mathematikunterricht in der Mittelstufe eines Gymnasium teilgenommen. 48 Teilnehmer haben an einem Mathematik-Grundkurs der Gesamtschule oder einem Mathematikkurs der Realschule teilgenommen. Die behandelten Inhalte in den verschiedenen Schulstufen sind unterschiedlich, so dass der Kenntnisstand der Schüler nicht direkt vergleichbar ist. Jedoch lässt sich mit dieser Klassierung eine grobe Gruppierung der Schüler in 2 mathematische Leistungsniveaus vornehmen, von denen das obere Leistungsniveau mit 101 Schülern deutlich stärker besetzt ist.

5.3.1.6 Einordnung in den Rahmenlehrplan der Laborversuchsschule

Für die E- und G-Kurse Physik hat die Fachkonferenz Physik Kurssequenzen vorgeschlagen, die eine gute Koordination unter den die Kurse unterrichtenden Fachlehrern gewährleisten sollen.

Die Kurssequenzen sind inhaltliche Ausfüllungen der für die Jahrgangsstufe gegebenen Richtlinien des Lernbereichs Naturwissenschaften.

Inhalte der Jahrgangsstufen (sog. Abteilung) 5/6 sind demnach:

- Temperatur und Wärme
- Der elektrische Strom und seine Wirkung
- Einführung in den Kraft- und Arbeitsbegriff

Inhalte der Abteilung 7/8 sind:

- Licht und Schatten
- Reflexion und Brechung des Lichtes
- Größen und Gesetze des elektrischen Stromkreises

Inhalte der Abteilung 9/10 sind:

- Kraft, Arbeit, Energie, Leistung
- Strom, Magnetfeld, Bewegung

Die Inhalte, die im Rahmen des Modellversuches vermittelt werden, lassen sich an der Gesamtschule im Inhaltsbereich „Kraft, Arbeit, Energie, Leistung“ verorten.

5.3.1.7 Sachanalyse

Bei der Behandlung des Gegenstandes „Bewegung von Körpern“ wurden nach Abstimmung mit den Richtlinien und dem schulinternen Curriculum, unter Betrachtung der Lerngruppe, und mit Blick auf die Weiterentwicklung der E-Kurs-Teilnehmer mit Blickrichtung auf die gymnasiale Oberstufe folgende Ziele formuliert:

Eigenschaften Ort und Zeit

- Die Gruppe soll die Bewegung eines Körpers als eine von der Zeit abhängige Veränderung des Ortes x(t) verstehen. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer selbstständig die geradlinig gleichförmige Bewegung eines Objektes auf dem Bildschirm programmieren können, dazu das Signal eines Zeittaktgenerators nutzen können, und den Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der Δt der Taktschritte, der Distanz Δs der Wegschritte und der Geschwindigkeit v erklären können.

- Die Gruppe soll verstehen, dass sich eine beliebige Bewegung in 2 Dimensionen durch eine Überlagerung der Bewegung entlang der 2 die Ebene aufspannenden Einheitsvektoren beschreiben lässt. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer selbstständig nicht-triviale Bewegungen eines Objektes in 2 Dimensionen programmieren können, und dazu die Eigenschaften „x-Position“ und „y-Position“ des Objektes geeignet beeinflussen.

Um den Bezug zur Physik des realen Geschehens herstellen und absichern zu können, sollen die Schüler auf der Grundlage der mit dem Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse einen Versuch zur Messung der Geschwindigkeit realer Objekte selbstständig **planen**, **durchführen**, **auswerten** und **interpretieren**.

Eigenschaften Geschwindigkeit und Beschleunigung

- Die Gruppe soll die Geschwindigkeit als eine Eigenschaft des Objektes verstehen, die den Ort des Objektes in x- und y-Richtung beeinflusst. Sie soll damit auch verstehen, dass sich bei einem realen physikalischen Objekt der Ort des Objektes nicht beliebig, im Sinne eines Sprungs, verändern lässt, sondern dass dies eines Translationsprozesses bedarf.

- Die Gruppe soll verstehen, dass auch die Geschwindigkeit eines Objektes sich nicht sprunghaft und beliebig ändern lässt, sondern dass die Geschwindigkeit eine Eigenschaft des Objektes ist, die durch die Beschleunigung des Objektes variiert wird. Als ausreichendes Kennzeichen für ein Verständnis gilt, wenn die Teilnehmer die Objektattribute Beschleunigung und Geschwindigkeit in geeigneter Weise miteinander verknüpfen, indem sie das Signal eines Zeittakt-Generators nutzen und den Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Abstand der Δt der Taktschritte, der Änderung Δv der Geschwindigkeit, und der Beschleunigung a korrekt anwenden und erklären können.

Um den Bezug zur Physik des realen Geschehens herstellen und absichern zu können, sollen die Schüler auf der Grundlage der mit dem Simulationsmodell gewonnenen Erkenntnisse einen Versuch zur Messung der Bewegung realer Objekte selbstständig **planen**, **durchführen**, **auswerten** und **interpretieren**. Sie sollen die gewonnenen Erkenntnisse in den Bezug zur Software-Simulation stellen und die in der Realität gewonnenen Messwerte zur Verbesserung des Software-Modells, d.h. zur weiteren Annäherung des Modells an die Realität, nutzen.

5.3.2 Durchführung der Pilot-Unterrichtsreihe in der Laborgruppe

5.3.2.1 Analyse eines existierenden Modells

Nach einer Bestimmung des Begriffes „Dynamik“ als einen Teilgebiet der Physik, das die Lehre von der Bewegung von Objekten unter dem Einfluss von Kräften darstellt, wurde der Gruppe die Aufgabe gegeben, das Bewegungsprofil besonderer Software-Objekte zu erfassen. Es handelte sich hierbei um die computergrafische Darstellung von „Moorhühnern“ als Bestandteil eines zu diesem Zeitpunkt äußerst populären, zu Werbezwecken frei verteilten Computerspiels. Die Moorhühner steigen hierbei regellos vom Boden auf und fliegen entlang typischer Bahnen, bis sie entweder von sich aus im Gelände niedergehen, oder vom Spieler mit einem Flintenschuss getroffen werden.

Die Schüler analysierten in Kleingruppen zu 3 Personen das typische Bewegungsprofil. Im Anschluss wurde im Plenum an der Tafel eine konsensuelle Darstellung erarbeitet und schriftlich fixiert.

Die Schüler entnahmen aus der Analyse folgende Zustände des Flugprofils:

1) **Das Huhn gewinnt mühsam an Höhe.**
   Hier wurde in der Diskussion vom Lehrer die Vorstellung der „Mühsamkeit“ provoziert. Eine weitere Erkundung kann untersuchen, weshalb der Aufstieg „mühsam“ wirkt, und so die Begriffe Arbeit, Energie, Leistung, Gewicht zur Diskussion bringen.

2) **In einer Übergangsphase beschleunigt das Huhn, um geradeaus zu fliegen.**
   Den Schülern ist ein bogenförmiger Übergang von schräg dargestellten Steigflug in den mit höherer Vorwärtsgeschwindigkeit erfolgenden Geradeausflug aufgefallen; dies haben sie auch übereinstimmend skizziert. Eine weitere Erkundung kann die genaue Form des Übergangs bestimmen; plausibel ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, die dem mit konstanter Steiggeschwindigkeit erfolgendem Steigflug überlagert ist. Dies würde in

der räumlichen 2D-Darstellung eine liegende Parabel ergeben, was sich sehr gut mit der Skizze der Schüler deckt.

3) Das Huhn bewegt sich geradlinig und gleichförmig.

Dieser Abschnitt des Fluges ist besonders einfach und wird sicherlich als erstes programmiertechnisch realisiert sein. Hier lassen sich einfache Weg-Zeit-Gesetze unter Einsatz des Timer-Controls schnell modellieren; von dieser Bewegung ausgehend kann die Bewegung der Software-Objekte schnell auf 2 Raumachsen erweitert werden.

4) Bei einem Abschuss fällt das Huhn sofort senkrecht nach unten.

Eine den Regeln der Physik völlig wiedersprechende Darstellung: obwohl das Huhn in der Darstellung von der Seite getroffen wird, so dass durch die Waffenwirkung kein Impuls entgegengesetzt zur Flugrichtung zu erwarten ist, stellt das Huhn in der Darstellung durch die Spielesoftware sofort die Vorwärtsbewegung ein und fällt, sich rückwärts überschlagend, senkrecht herunter. Dieser Punkt ist diskutiert worden und wurde von den Schülern kontrovers betrachtet; einige Schüler wollten die Darstellung mit der verwandten Darstellung von Comicfiguren legitimieren, die in Trickfilmen auch häufiger über den Abgrund hinwegrennen, dann erst nach einer Weile den Abgrund unter ihren Füssen bemerken und dann senkrecht herunterfallen.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe bietet es sich an, dieses Phänomen mit realen Objekten aus der Physiksammlung, z.B. der Maschine für den schrägen Wurf, präzise zu untersuchen. Dies sollte zu einer Kritik der durch den Programmierer von „Moorhuhn“ gewählten Darstellung führen, die in einer alternativen, näher an die physikalische Realität angepassten Darstellung mündet.

5) Bei der normalen Landung gleitet es auf einer Schräge nach unten.

Wird das Moorhuhn im Flug nicht beschossen, so steigt es nach einer zufallsbestimmten Flugzeit annähernd im 45° Winkel zu Erde ab. Dabei ändert es die Vorwärtsgeschwindigkeit nicht, es wird lediglich eine konstante Abwärtskomponente überlagert. Hier ist eventuell ein Vergleich mit dem Geschwindigkeitsverlauf auf der schiefen Ebene von Interesse.

6) Manchmal wird die Vorwärtsbewegung des Huhns von einer Rotationsbewegung überlagert.

Beispiele: Abschuss, Windmühle

Einige Schüler wollten beobachtet haben, dass das Huhn nach einem Treffer erst steigt, und dann fällt. Eine genauere Beobachtung durch die Gesamtgruppe mit dem Videoprojektor während einer Spielrunde ergab, dass das Huhn sich durch den Treffer nach hinten überschlägt, wobei der Kopf kurzzeitig über die Flugbahn aufsteigt. Die Schüler beobachteten weiterhin, dass der „Bauch“ (näherungsweise der Schwerpunkt) des Huhns dabei seine Höhe nicht ändert.

Es ergibt sich daraus an dieser Stelle die Möglichkeit, die Überlagerung translatorischer und rotatorischer Bewegungen zu diskutieren und darzustellen.

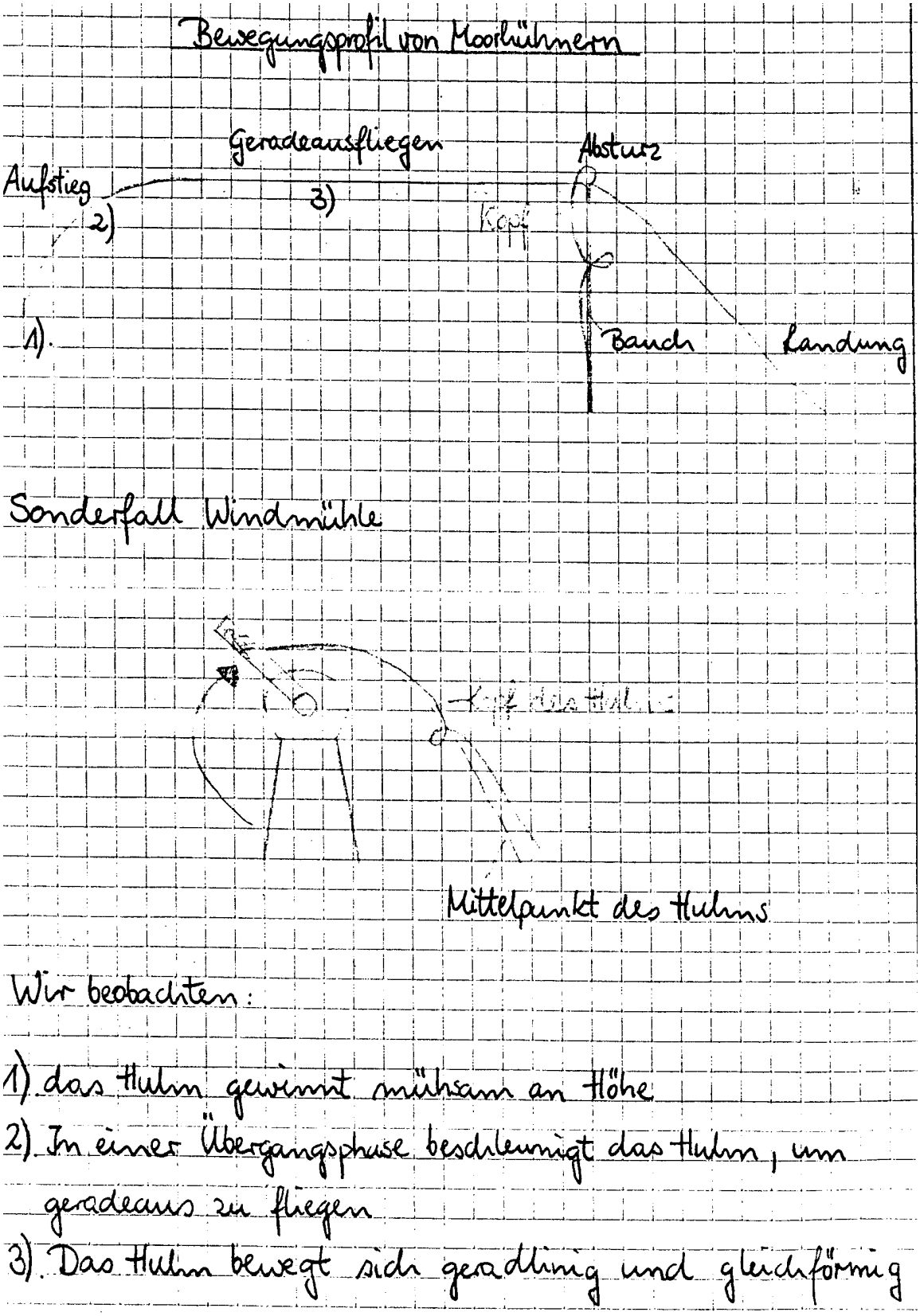


Abbildung 60: Analyse eines existierenden Software-Modells (Auszug aus einem Schülerheft)

5.3.2.2 Einführung in die Objektorientierte Programmierung

Die Schüler erhalten nun eine Einführung in die Objekt-Orientierte Programmierung OOP. Hierbei wurde den Schülern kurz die Leistungsfähigkeit der Programmiersprache Visual Basic demonstriert. Zwei Schüler, die aus dem Wahlpflichtkurs „Informationsumsetzende Maschinen“ bereits mit Visual Basic vertraut sind, programmierten in etwa 3 Minuten ohne Vorbereitung ein Moorhuhn, das bei Druck auf eine Schaltfläche sprunghafte Bewegungen über den Bildschirm ausführt. Die anderen Schüler konnten das Vorgehen über einen Video-Projektor verfolgen.

Im Anschluss wurde die Bedeutung der Begriffe „Objekt“, „Eigenschaft“, „Methode“, „Ereignis“ im Unterrichtsgespräch an lebensweltlichen Beispielen erarbeitet:

- **Objekte** können Gegenstände oder Personen sein

- Diese Objekte haben bestimmte **Eigenschaften**: Personen haben z.B. unterschiedliche Haarfarben. Manche Eigenschaften können von außen geändert werden (einen Stuhl kann man anders anstreichen), manche Eigenschaften kann das Objekt nur selbst ändern (eine Person kann in einer hohen oder tiefen Stimmlage sprechen), manche Eigenschaften (Rasse, Geschlecht) lassen sich in der Regel gar nicht ändern.

- Objekte können bestimmte Tätigkeiten ausführen oder Aufgaben erfüllen - wie Menschen. Nach welcher **Methode** sie diese Tätigkeit ausfüllen, muss ihnen aber erst noch beigebracht werden.

- **Ereignisse** treten plötzlich ein, aber man ist meistens darauf vorbereitet. Wenn z.B. das Telefon schellt, dann kennt man meistens eine Methode, das Gespräch auch entgegen zu nehmen.

Nun wurde versucht, die definierten Begriffe auf die Verhältnisse auf dem Bildschirm zu übertragen. Hierbei beteiligten sich glücklicherweise nicht nur die erfahrenen Schüler, auch den Novizen gelang der Umgang mit den Analogien.

- Frage: Welche Objekte sind hier von Bedeutung? Antwort: Command-Buttons, ein grafisches Element (Kreis) auf dem Bildschirm

- F: Welche Eigenschaften des Objektes sind im Eigenschaftsfenster sichtbar? A: Z. B. den Radius, die Farbe, den Abstand des Kreises von der oberen und der linken Ecke des Fensters.

- F: Wie kann man sie beeinflussen? A: Zur Entwurfszeit direkt im Eigenschaftsfenster, zur Laufzeit, indem man die „dot notation“ (Objektname.Eigenschaft = neuer Wert) benutzt.

- F: Was ist das Ereignis? A: Der Mausklick des Benutzers auf einen der Command-Buttons.

- F: Welche Methode soll daraufhin ausgeführt werden? A: In den Event-Handler des Command-Buttons wird eine Anweisung in „dot notation“ eingetragen, die Top- und Left-Eigenschaften des Kreises geeignet zu verändern.

Die Erkenntnisse über das Prinzip der Objektorientierten Programmierungen wurden im Tafelbild festgehalten.

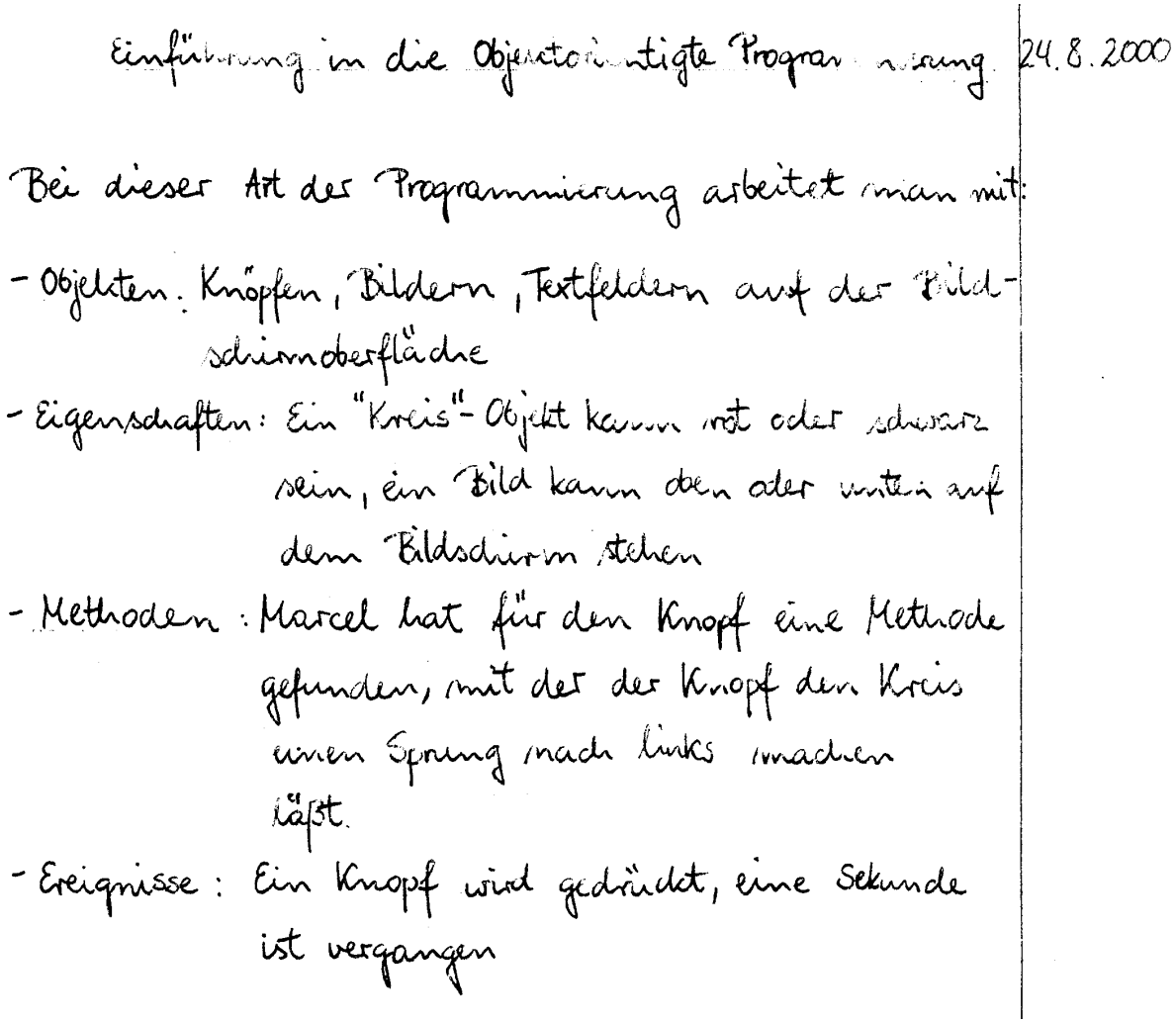


Abbildung 61: Einführung in die objektorientierte Programmierung (Auszug aus einem Schülerheft)

5.3.2.3 Geradlinig gleichförmige Bewegung: Parametervariation mit dem Software-Modell

Für die Einführung in die Objektorientierte Programmierung hatte eine Gruppe von Schülern, die hierzu Vorkenntnisse aus dem Wahlpflicht-Kurs „Informationsumsetzende Maschinen“ einsetzen konnten, die Erstellung eines Programms zur geradlinig gleichförmigen Bewegung des Moorhuhns über den Bildschirm demonstriert.

Die Funktionsweise des Programms wurde an der Tafel mit dem Satz beschrieben:

„Der Timer-Baustein von Visual Basic versetzt in zeitlichen Intervall-Abständen t das Moorhuhn immer um eine bestimmte Strecke S“

Darauf aufbauend wurden folgende Fragen formuliert:

1) Was passiert wenn man die Intervall-Abstände verkürzt?

2) Was passiert wenn man die Strecke S vergrößert?

Die Schüler erhielten nun die Aufgabe, in Kleingruppen von 3-4 Personen

- das Programm der WP-Schüler nachzuprogrammieren - hierbei wurden sie von diesen Schülern unterstützt, die jeweils als Tutoren den Kleingruppen zugeordnet waren,
- durch Variation der Parameter t und S ihres Programms Antworten auf die oben beschriebenen Fragen zu erhalten.

Aus den von den Kleingruppen gelieferten und im Plenum diskutierten Antworten ergab sich folgendes, an der Tafel fixierte Ergebnis:

Zu 1) Wenn das zeitliche Intervall t **verkürzt** wird, bewegt sich das Moorhuhn schneller.
Denn: Das Moorhuhn braucht **weniger** Zeit t, um die gleiche Strecke S zurück zu legen.

Wenn das zeitliche Intervall t **verlängert** wird, bewegt sich das Moorhuhn langsamer, da das Moorhuhn **mehr** Zeit t braucht, um die gleiche Strecke S zurückzulegen.

Zu 2) Wenn die Strecke S **vergrößert** wird, bewegt sich das Moorhuhn in der gleichen Zeit t um eine größere Strecke S und wird dadurch **schneller**.

Wird die Strecke S **verkürzt**, und das Intervall t bleibt gleich, wird das Moorhuhn **langsamer.**

5.3.2.4 Abgleich des Software-Modells zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Realität durch physikalische Experimente

Durch die Auseinandersetzung mit dem Software-Objekt „Moorhuhn“ sind folgende Begriffe bei der Lerngruppe eingeführt worden:

1) „Zurückgelegte Strecke“ *s*

2) „Verstrichene Zeit“ *t*

3) „Geschwindigkeit“ *v*

Es soll nun überprüft werden, inwieweit die in der Modellwelt der Software-Simulation gefundenen einfachen Zusammenhänge der Realität entsprechen, und wie dieses Verhalten realer Objekte sich durch die Messmethoden der Physik überprüfen und quantifizieren lässt. Die Versuche sollten durch die Mitglieder der Lerngruppe **geplant**, **konzipiert** und **durchgeführt** werden. Die Ergebnisse sollen von ihnen **ausgewertet** und mit den in der Modellwelt der Software gefundenen Ergebnissen **verglichen** werden.

Bei der Planung der Experimente sollten die Schüler existierende Fachliteratur zur Grundlage nehmen. Eine Betrachtung der Aussagen des Schulbuches[143] führte darauf, dass der in der Modellwelt gefundene Sachverhalt sich in der Fachliteratur wiederfindet, und mit folgenden Aussagen quantitativ beschrieben werden kann:

$$\text{Geschwindigkeit} = v = \frac{S}{t}$$

Nun sollten Experimentiermöglichkeiten mit Realobjekten gefunden werden, die diese quantitative Aussage bestätigen können. Einige Hinweise über etablierte Messverfahren lieferten wiederum die Physikbücher; ein gemeinsamer Rundgang durch die Physiksammlung ergab weitere Ideen.

Nach Sichtung der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten (siehe Abbildung) wählten die Schüler zwei Experimente aus:

1) Reibungsarmer Rollenwagen; Stoppuhrmessung

Hauptbestandteil des Versuches ist ein kleiner Wagen in massiver Bauweise, der auf 3 Metallscheiben mit 13 cm Durchmesser und 2 mm Dicke rollt. Die Räder sind mit Kugellagern ABEC 5 ausgestattet. Auf glatten Untergrund können Reibungsverluste dadurch sehr gering gehalten werden.

Die Schüler schlugen vor, mit einem Maßband eine längere Strecke *S* abzumessen und mit einer Stoppuhr die Zeit zum Durchfahren der Strecke zu messen.

Die Idee wurde durch den Lehrer dazu ergänzt, dass die Schüler sich in mehreren gleichen Abständen - gewählt wurden 2 m - aufstellen. Es wurde jeweils mit den in den Armbanduhren der Schüler integrierten Stoppuhren die Zeit vom Start des Wagens (durch den in der Abbildung knienden Schüler) bis zur Vorbeifahrt an der ausgestreckten Fußspitze gemessen. Das von der Lerngruppe erstellte Konzept sieht vor, die Zeitabschnitte t_n für das Durchfahren der Abschnitte von jeweils 2 m dann jeweils durch Differenzbildung zu ermitteln.

[143] Dorn, F.: Physik. Hannover: Schroedel, 1983.

Abbildung 62: Stoppuhrmessung. Man beachte die Aufstellung der Schüler (links) an Messpunkten in Abständen von 2 m. Hiermit wird bewußt eine Analogie zur der diskreten Verschiebung des Objektes auf dem Bildschirm hergestellt.

2) Schienengebundener Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung

Auf einer Metallschiene gleitet reibungsarm ein Metallwagen - im Bild rot zu sehen - auf Rollenlagern. Während der Bewegung - im Bild von links nach rechts - zieht er einen Streifen Cadmiumpapier durch eine zeitgetaktete Messvorrichtung. Die Zeit-Weg-Registrierung funktioniert dergestalt, dass in einem einstellbaren Zeitintervall von $t = 100$ ms oder $t = 20$ ms durch einen Induktionsstoß kurzzeitig eine elektrische Spannung zwischen zwei Kontakten angelegt wird. Das Cadmiumpapier gleitet während der Messfahrt zwischen den beiden Kontakten und verfärbt sich durch den Spannungsstoß punktuell schwarz. So erhält man eine Reihe regelmäßiger Markierungen auf dem Cadmiumpapier. Die Abstände zwischen den Markierungen stellen den Weg dar, den der Wagen in dem Zeitintervall zwischen den beiden Spannungsstößen zurückgelegt hat.

Abbildung 63: Messung am schienengebunden Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung

Die beiden Experimente unterscheiden sich qualitativ:

Zu 1): das Experiment mit dem Rollwagen und der Stoppuhrmessung, das von der Schülergruppe auf dem Gang vor dem Unterrichtsraum durchgeführt wird, ist gekennzeichnet durch:

- eine feste Strecke $S = 2$ m zwischen den Messpunkten als unabhängige Variable,
- das zeitliche Intervall t für die Zeit, die der Wagen zum Zurücklegen der Strecke S braucht, als Messgröße.

Zu 2): das Experiment mit dem schienengebundenen Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung ist gekennzeichnet durch:

- eine festes zeitliches Intervall $t = 100$ ms zwischen den Messpunkten als unabhängige Variable
- die Strecke S, die der Wagen innerhalb des zeitlichen Intervalls t zurücklegt, als Messgröße.

Dies ist von besonderer Bedeutung für das Übertragen der Modellattribute in die Simulationswelt. Die bisher den Schülern bekannten Programmversion ist gekennzeichnet durch:

- Ein fest vorzugebenes zeitliches Intervall t zwischen den Aktivitäten des Timer-Objektes als unabhängige Variable;

- Ein fest vorzugebende Strecke S, die das Objekt zwischen zwei Aktivitäten des Timer-Objektes zurücklegt, als weitere unabhängige Variable;

- Der resultierende Geschwindigkeit *v* als abhängige Variable.

Die quantitative Auswertung der zwei Messreihen führte zu nachvollziehbaren Ergebnissen.

Interpretation der Ergebnisse durch die Schüler:

Den Schülern fiel auf, das die Zeiten, die beim Zurücklegen der gleichmäßigen 2 m-Abstände durch den Rollenwagen verstrichen, nicht konstant blieben. Im Gegensatz zu der Bewegung des Objektes auf dem Bildschirm, so folgerten Sie, bleibt hier die Geschwindigkeit *v* offenbar nicht konstant.

Ebenso fielen den Schülern beim schienengebundenen Wagen Veränderungen der Abstände zwischen jeweils zwei Messpunkten auf, obwohl die zeitlichen Intervalle *t* zwischen dem Setzen zweier Messpunkte konstant bleiben. Dies konnten die Schüler unter Einsatz der Geschwindigkeitsgleichung mit einer Änderung der Geschwindigkeit v während des Abrollens erklären - natürlich vor allem hervorgerufen durch die nicht eliminierte Neigung der Schiene. Auch hier wurde der Gegensatz zur Simulation auf dem Bildschirm deutlich.

Nach der quantitativen Auswertung der Experimente waren die qualitativen Unterschiede der zwei Experimente und der Modellwelt zueinander wesentlicher Gegenstand der Diskussion mit der Lerngruppe. Der Weg zur mathematischen Beschreibung der drei unterschiedlichen Situationen führte schließlich über das Umstellen der Geschwindigkeitsgleichung.

Die Gleichung in der Form

$$v = \frac{s}{t}$$

beschreibt die Verhältnisse in der simulierten Modellwelt mit zwei unabhängigen Variablen *s, t* und der sich daraus ergebenden Geschwindigkeit *v* auf dem Bildschirm.

Die Gleichung in der Form

$$t = \frac{s}{v}$$

beschreibt die Verhältnisse bei der Messung des Rollenwagens mit einfachen Stoppuhren.

Dabei entspricht die Strecke s zwischen jeweils zwei Punkten der Messtrecke, die sich aus der Aufstellung der Schüler ergibt, der Strecke s, die das Objekt regelmäßig in der simulierten Modellwelt zurücklegt. Aus diesem Grund wurde die Aufstellung der Schüler auch - zunächst ohne weitere Erläuterung - den Schülern so vorgeschlagen. Nach der Diskussion konnten die Schüler erklären, dass die punktuelle **Messung** der Bewegung des Wagens an diskreten Orten, wie sie durch die Schüler erfolgte, vergleichbar ist mit der punktuellen **Darstellung** der Bewegung des Objektes zu diskreten Orten, wie es auf dem Bildschirm durch das Simulationsprogramm geschieht.

Die Gleichung in der Form

$s = v \cdot t$

beschreibt die Verhältnisse bei der Messung am schienengebundenen Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung.

Dabei entspricht das zeitliche Intervall *t* jeweils dem Intervall zwischen zwei Aktivitäten des Timer-Objektes, das für die Bewegung des Objektes auf dem Bildschirm um jeweils die Strecke s sorgt. Nach der Diskussion konnten die Schüler erklären, dass die punktuelle **Messung** der Bewegung des Wagens zu diskreten Zeiten, wie sie durch die elektrisch zeitgetaktete Messvorrichtung erfolgt, vergleichbar ist mit der punktuellen **Darstellung** der Bewegung des Objektes zu diskreten Zeiten, wie es auf dem Bildschirm durch das Simulationsprogramm geschieht.

5.3.2.5 Formulierung der Klassendiagramme

Nachdem durch die Herbstferien und die Projektwoche der Schule nahezu 4 Wochen verstrichen waren, waren die Erinnerungen der Schüler an den Aufbau und die Funktionsweise des Simulationsprogramms nur noch verschwommen. Aufbau und Funktion mussten sollten also im Plenum noch einmal diskutiert werden, um wieder allgemein Klarheit zu schaffen. Hierzu bietet sich der Einsatz eines dUML-Diagramms an.

Die Erstellung des UML-Klassendiagramms geschah unter der umgangssprachlich formulierten Fragestellung:

- Welche **Objekte** spielen in der Software eine wesentliche Rolle?
- Welche **Eigenschaften** sind wichtig, um diese Objekte zu beschreiben**?**
- Was muss das Programm **machen**? (=> Methoden)
- Welche **Ereignisse** können passieren?

Das erstellte dUML-Klassendiagramm hatte die folgende Form. Hier können die Schüler eindeutig und übersichtlich ablesen:

welche Methoden in einem Modell **qualitativ** enthalten sein muss, das die Bewegung eines Moorhuhns – also allgemein eines Körpers im Schwerefeld der Erde – darstellen soll.

welche Variablen (x(t), v(t), a(t) **quantitativ** zu bestimmen sind, um die Bewegungen des Körpers der beobachteten Realität anzupassen.

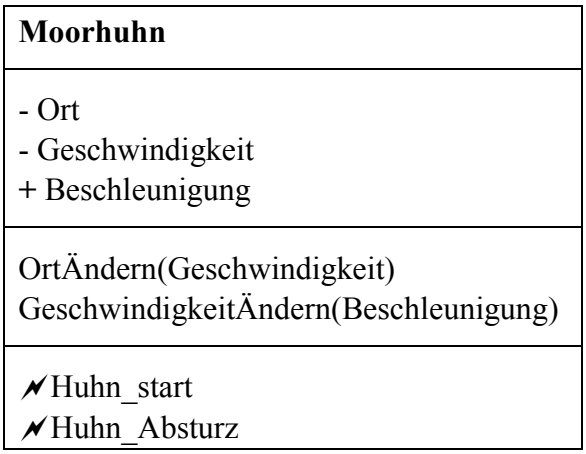


Abbildung 64: dUML-Klassendiagramm für „Moorhuhn"-Objekte

Daneben zeigt das dUML noch die Ereignisse „Start" und „Absturz", die verschiedene Phasen der Bewegung des Körpers markieren. In den markierten Phasen liegen auch unterschiedliche Bewegungszustände vor - eine gleichförmig geradlinige in der Phase nach dem Start, und eine beschleunigte Bewegung im Schwerefeld der Erde nach dem Absturz. Dies muss durch unterschiedliche Zustände des Modells dargestellt werden. Es ergibt sich folgender Zustandsgraph:

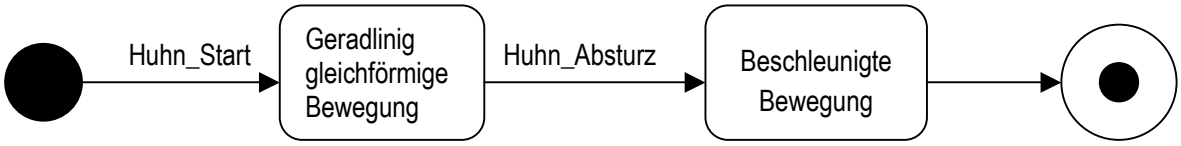


Abbildung 65: dUML-Zustandsgraph

5.3.2.6 Die beschleunigte Bewegung / der waagerechte Wurf

Aufbauend auf dem in der Unterrichtssequenz „Die gleichförmig geradlinige Bewegung" erarbeiteten Erkenntnissen und dem dort erstellten Software-Modell, in dem diese Erkenntnisse Entsprechung finden, sollte nun ein mit der Realität abgeglichenes Modell des waagerechten Wurfs erstellt werden.

Für die Schüler geht es dabei um die Darstellung der „Abschuss"-Sequenz, die im Vorfeld bei dem kommerziellen Computerspiel „Moorhuhn" analysiert und als unreal erkannt worden ist.

Mit dieser Unterrichtssequenz sind folgende Lernziele verbunden:

- Die Schüler sollen die allgemeine Bewegung auf dem Bildschirm als Überlagerung einer Bewegung in den x- und den y-Achsen des Bildschirmes verstehen.
- Die Schüler sollen die Analogie bilden können, dass sich auch reale Bewegungen in der Ebene als Überlagerung von Bewegungen entlang zweier Koordinaten darstellen lassen.
- Die Schüler sollen die Beschleunigung als eine zeitabhängige Änderung der Geschwindigkeit verstehen

5.3.2.7 Parametervariation mit dem Software-Modell

Das von den Schülern dargestellte Software-Modell hatte zuletzt die Form:

Quellcode 1

```
Private sub Uhr_Timer()
Moorhuhn.left = Moorhuhn.left + 300
Moorhuhn.top = Moorhuhn.top -500
End sub
```

Die Schüler bekamen die Aufgabe, durch Variation des Parameters y folgende Fragen zu beantworten:

- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter 0 ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter 5 ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter größer ist?
- Wie fliegt das Huhn wenn der Parameter kleiner ist?
- Welche Flugbahn entspricht am ehesten der Realität?

Die Schüler bekamen im Anschluss die folgenden beiden Beispielprogramme zur Verfügung gestellt:

Quellcode 2. Eine Fallbewegung mit einer Geschwindigkeit in y -Richtung von (y=10Einheiten/Takt=const):

```
Dim y As Integer

Private Sub Form_Load()
y = 10
End Sub


Private Sub Timer1_Timer()
y = y + 0
Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

If Moorhuhn.Top > 8400 Then
   y = 0
    Moorhuhn.Height = 100
    Timer1.Enabled = False
End If

End Sub
```

Quellcode 3. Eine Fallbewegung mit einer Geschwindigkeit in y –Richtung, die zunächst y=0 Einheiten/Takt beträgt, und dann pro Takt um 9 Einheiten erhöht wird:

```
Dim y As Integer

Private Sub Form_Load()
y = 0
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
y = y + 9
Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

If Moorhuhn.Top > 8400 Then
    y = 0
    Moorhuhn.Height = 100
    Timer1.Enabled = False
End If

End Sub
```

Die grafische Darstellung des fallenden Körpers hatte in beiden Fällen die gleiche Form:

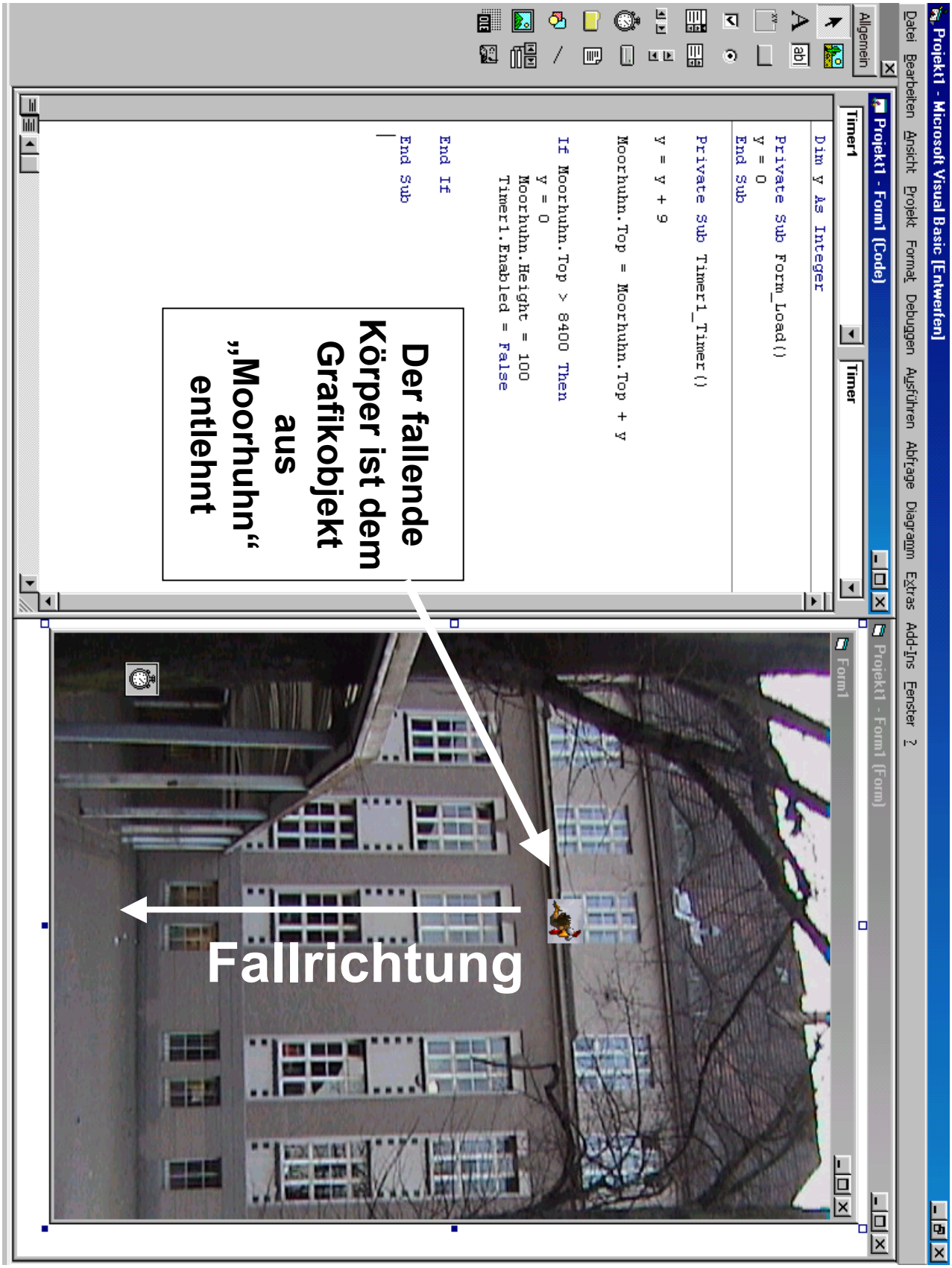


Abbildung 66: grafische Oberfläche der Software-Simulation

Das zu beobachtende Grafik-Objekt, das den fallenden Körper darstellen sollte, war aus Konsistenzgründen wiederum das Symbol eines Moorhuhns. Schließlich dient die gesamte Unterrichtsreihe ja dem Projektziel, eine Moorhuhn-Software mit möglichst realitätsgetreuer Darstellung der Flug- und Fallbewegungen zu erstellen, und die Realitätstreue durch möglichst gut mit der Simulation vergleichbare Experimente zu gewährleisten.

Die beiden Programme, ihr Quellcode und ihr grafischer Ablauf wurde den Schülern mit Hilfe eines Videoprojektors demonstriert.

Abbildung 67: Suche nach der Struktur und den Unterschieden der beiden Beispielprogramme.

Die Struktur des Programms konnte von den Schülerinnen und Schülern sofort erkannt und erklärt werden, da bei der Erstellung der kurzen Prozedur darauf geachtet wurde, die Ähnlichkeit mit der Vorgängerversion so groß wie möglich zu halten. Hinzu kommt, dass durch die Beschränkung der Bewegung auf eine Dimension (y-Richtung) die Komplexität der Software nochmals reduziert wurde. Die Schüler erkannten schnell, dass die zuerst kaum wahrnehmbare und dann immer schneller werdende Fallbewegung mit der Iteration der Variable y um jeweils den konstanten Wert 9 zusammenhängt, und dass diese Iteration der grundlegende Unterschied zwischen Quellcode 2 und 3 ist.

Weiterhin wurde die Bewegung des Grafik-Objektes, wie sie durch Quellcode 2 bewirkt wird, von einem großen Teil der Schüler als eine unnatürlich wirkende Bewegung bezeichnet. Allerdings war sich nicht jeder Schüler sicher, insbesondere nicht, ob die von Quellcode 3 bewirkte Bewegung wesentlich natürlicher ist.

Selbst unter der Annahme, Quellcode 3 enthielte die korrekte Methode zur Darstellung der natürlichen Bewegung, muss der Wert noch bestimmt werden, um den sich die Geschwindigkeit des in der y-Richtung des Bildschirm bewegenden Bildes pro Zeittakt erhöht werden soll.

5.3.2.8 Abgleich des Software-Modells mit der Realität durch physikalische Experimente

Der Wert 9, um den im Beispiel iteriert wird, wurde den Schülern gegenüber neutral als „der Parameter“ bezeichnet. Tatsächlich verbirgt sich dahinter eine Beschleunigung der Bewegung des Gegenstandes über den Bildschirm. Im Falle einer in y-Richtung des Bildschirmes wirkenden Bewegung kann man davon sprechen, das der Parameter die Fallbeschleunigung des Software-Objektes im virtuellen Raum der Software-Simulation darstellt.

In einem Unterrichtsgespräch mit den Schülern war schnell allgemeiner Konsens, dass die Bestimmung des Parameters in Form einer „Frage an die Natur“ geschehen soll. Die Antwort auf diese Frage wurde als notwendig verstanden, um eine möglichst gute Abbildung der Realität im Software-Modell zu erreichen. Die Bestimmung des Parameters wurde nun der Schülergruppe zur Aufgabe gemacht.

Um alle Schüler zu beteiligen und für die Untersuchung möglichst genau die in der Gruppe vorhandenen Problemlösungsstrategien erfassen zu können, wurde ein Arbeitsblatt erstellt, das von jedem Schüler zu bearbeiten und unter seinem eigenem Namen abzugeben ist.

Auf dem Arbeitsblatt ist im rechten Bereich eine Abbildung der Schule, die mit einer Digitalkamera aus einer gut geeigneten Beobachtungsposition auf dem Schulhof geschossen wurde. Markante Elemente der Fassade, wie die zur Wegbestimmung hilfreichen Fensterbänke, sind auf der Abbildung gut zu erkennen.

Die Schüler wurden auf dem Arbeitsblatt schriftlich aufgefordert einen Versuch zu entwerfen, mit dem die Eigenschaften des bereits erstellte Software-Objektes an der realen Bewegung eines frei fallenden Objektes überprüft werden können. Diese allgemeine Zielsetzung wurde durch eine differenzierte Fragestellung ergänzt:

a) entsprechen die Bewegungen des Software-Objektes (=„Moorhuhn“) überhaupt der Bewegung eines fallenden Gegenstandes?

b) wie muss man die Parameter des Programms anpassen, damit das Software-Objekt auf dem Bildschirm möglichst gleich schnell wie der Gegenstand fällt?

In dem Fragenteil b) war wiederum eine Referenz auf den Parameter enthalten, den die Schüler als elementaren Programmbestandteil der Simulation kannten, und mit deren Bedeutung sie gut vertraut waren. Einige Testfragen im Vorbereitungsgepräch mit den Schülern stellten sicher, dass den Schülern die Identität des auf dem Blatt referenzierten Parameters mit dem Software-Bestandteil klar war.

Es wurde weiterhin auf dem Blatt vermerkt, dass auf eine Reihe von Materialien zurückgegriffen werden konnte. Im Einzelnen waren dies:

- verschiedene Wurfkörper – Tennisbälle und Ballons, die mit Wasser gefüllt werden können,
- eine 25 m lange, schwere Fallschnur,
- ein Zollstock,
- Stoppuhren,
- eine digitale Videokamera.

Der Umgang mit der digitalen Videokamera wurde den Schülern in einer kurzen Präsentation demonstriert. Wichtige Details der Videokamera sind die Möglichkeit zum bildgenauen Vorlauf, Einzelbildschaltung, und ein in die digitalen Videodaten eingeprägter SMPTE-Zeitcode. Der SMPTE-Zeitcode ist in der Videoproduktion sehr geläufig und hat das Format „Minute:Sekunde:Einzelbild“. Da die Kamera 25 Einzelbilder pro Sekunde aufnimmt, erhält man eine zeitliche Auflösung von 1/25 Sekunde, also von 40ms. Beispielsweise bedeutet „1:20:16“, dass das entsprechende Bild 1 Minute, 20 Sekunden und 16 Einzelbilder nach dem Start der Aufnahme erfasst wurde, also nach 80,64 Sekunden. Der SMPTE-Zeitcode wird auf Wunsch im Display der Kamera deutlich angezeigt und bleibt auch bei der digitalen Bildverarbeitung im Rechner erhalten.

Die Auswahl der Materialien und die Aufnahme der Schule legte den Schülern einen Fallversuch aus dem Fenster der Schule sehr nah. Nicht vorher geklärt wurde jedoch, wie ein solcher Versuch ablaufen könnte.

Die Schüler bekamen nun 45 Minuten Zeit, um den Ablauf des Versuches zu beschreiben. Der Aufbau des Arbeitsblattes schrieb vor, die Ablaufbeschreibung in die Phasen

- Versuchsvorbereitung,
- Versuchsdurchführung und
- Versuchsauswertung

zu trennen und die in jedem Abschnitt notwendigen Aktivitäten getrennt zu beschreiben. Weiterhin wurde gefordert, dass eine Skizze der Vorgehensweise erstellt wird.

Daniel Panzer

Aufgabe

Bitte entwerft einen Versuch, mit dem wir unser Software-Modell des fallenden Huhns an dem freien Fall eines realen Objektes überprüfen können. Am Pult liegen einige Materialien dafür zur Verfügung.

Wir wollen wissen:

a) entsprechen die Bewegungen des Moorhuhns überhaupt der Bewegung eines fallenden Gegenstandes?

b) Wie muss man die Parameter des Programmes anpassen, damit das Moorhuhn **möglichst gleich schnell** wie der Gegenstand fällt?

Beschreibt und skizziert - auch gerne auf einem Extrablatt - wie Ihr vorgehen wollt!

Versuchsvorbereitung: Benötigt: Tennisball, Stoppuhr, Videokamera 2 Personen, Höhe des Gebäudes herausfinden

Versuchsdurchführung: Die erste Person steht oben am Fenster und wirft den Ball auf Kommando der zweiten Person nach unten. Die zweite Person steht mit Kamera und Stoppuhr auf dem Hof passt auf, dass niemand durchs Feld läuft. Danach gibt er/sie das Kommando zum Wurf. Er/sie stopt die Fallzeit und zeichnet sie per Kamera auf.

Versuchsauswertung:

Anhand der Aufzeichnung und der Zeit kann man durch Einzelbilder mehrere Zwischenzeiten bestimmen und hinterher die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnen. So lässt sich feststellen, wie der Parameter eingestellt sein muss.

Abbildung 68: Planung des Realexperimentes zum Abgleich des Modells als Schüleraufgabe.

Die Schüler wurden über die von ihnen präferierte Sozialform (Einzelarbeit, Partnerarbeit, Gruppenarbeit) befragt. Ihr Wunsch, den gesamten Vorgang im Unterrichtsgespräch zu bearbeiten, wurde abgelehnt: Dadurch würden sich die Leistungen der einzelnen Schüler nicht ausreichend differenziert betrachten lassen. Diese Diskussion schloss mit dem Kompromiss, das jeweils zwei Schüler in Partnerarbeit zusammen arbeiten sollten, aber jeweils ein eigenes mit dem Schülernamen versehenes Arbeitsblatt abgegeben werden muss. Die Zuordnung der Partnergruppen für die anschließende Auswertung kann zuverlässig aus dem Sitzplan entnommen werden.

Auswertung der Schülerarbeit

Beschriebenes Vorgehen zur Vermessung des freien Falls	**Anzahl der Nennungen**	**Mittlere Punktzahl des Testergebnisses**	**Mittlere Zeugnisnote der Schüler dieser Gruppe über 2 Halbjahre** **(in Klammern: äquivalente Punkte der gymnasialen Oberstufe)**	**Mittlere mündliche Note der Schüler dieser Gruppe im Versuchsquartal** **(in Klammern: äquivalente Punkte der gymnasialen Oberstufe)**
Aufzeichnung auf Video und Vermessung der Einzelbilder	**8** 5 w 3 m	11	gut (11,19)	gut (11,13)
Messung mit Stoppuhren und Messposten	**6** 4 w 2 m	12,5	gut (10,71)	gut (10,6)
Beides	**2** 1 w 1 m	13	sehr gut (13)	sehr gut (13)

Die von den Schülern skizzierten Vorschläge zur Vermessung des Freifall-Versuches wurden zur Auswertung in sinnvolle Gruppen klassiert. Dabei wurde deutlich, dass sich alle Vorschläge eindeutig in zwei Gruppen einordnen lassen.

Bei den Vorschlägen zur Messung mit Stoppuhren und Messposten handelt es sich um sehr gut bis ausreichend ausgeführte Transferleistungen aus den Schülerversuchen zur Messung der geradlinig gleichförmigen Bewegung, die mit der gleichen Methode durchgeführt wurden. (Rollwagen im Flur, Messposten). Bei den Vorschlägen zur Aufzeichnung auf Video handelt es sich um eine Bandbreite von kreativen Ideen, die die demonstrierten Fähigkeiten der Kamera ausnutzen und zur messtechnischen Erfassung der Fallbewegung umsetzen. Wie man sieht, hat die Demonstration der Möglichkeiten der Videokamera einen Grossteil der Schüler dazu inspiriert, auf dieser Grundlage ein eigenständiges Messverfahren zu entwickeln. Immerhin zwei Schüler schilderten beide Wege: zusätzlich zur Videoaufzeichnung sollten sich noch

Messposten an den Fenstern befinden, die mit ihren Stoppuhren unabhängig von der Videoaufzeichnung Daten erfassen. Im diese beiden Schüler gehören zu den Leistungsträgern des Kurses. Sie machten im Gespräch ihre Auffassung deutlich, dass die bei den Versuchen zur gleichförmig geradlinigen Bewegung mit der Stoppuhr-Methode auf eine einsichtige Art und Weise brauchbare Daten gewonnen wurden. Sie sahen daher keinen Grund, auf dieses in ihrer Sicht „bewährte“ Messverfahren zu verzichten. Auf der anderen Seite versprachen sie sich von dem Einsatz der Videokamera auch Vorteile insbesondere der erhöhten Genauigkeit, denn so genau wie die Kamera „könnte ja kein Mensch auf die Stoppuhr drücken“.

Die Verteilung auf die Vorschlagsgruppen lässt keine geschlechtsspezifische Verteilung erkennen. Tendenziell gehören die Schüler, die einen Versuchsgang mit Einsatz der Videokamera geplant haben, eher zu den kreativen Schülern mit hoher mündlicher Beteiligung. Dies wird an der etwas höheren Durchschnittsnote in dieser Gruppe für die mündlichen Leistungen in diesem Quartal deutlich. Die Gruppe, die etwas konservativ das bei der Messung der gleichförmig gradlinigen Bewegung angewandten Verfahrens mit Stoppuhren und Messposten auf den Versuch zum freien Fall übertragen hat, besteht eher aus Mitgliedern, die sich auch sonst im Unterrichtsgeschehen vorsichtig zurückhalten. Dafür sind ihre Beschreibungen sorgfältig ausgearbeitet und sehr umfassend, was sich in den sehr guten Ergebnissen der schriftlichen Übung auch wiederfindet. Bemerkenswert ist, dass diese Gruppe innerhalb des Messprozesses eine reichhaltige Anzahl an Variationen beschreibt. Mal soll der freie Fall im Treppenhaus der Schule mit Messposten auf den Treppenabsätzen durchgeführt werden, mal aus den Außenfenstern heraus mit Messposten in den einzelnen Etagen. Verschiedene Verfahren wurden zur Bestimmung der Fallhöhe genannt: Metermaß, Wollfaden, oder eine Einsichtnahme in den Gebäudeplan. An mehren Stellen wurde der Vorschlag geäußert, Fallproben mit unterschiedlichen Gewichten zu wählen und diese Gewichte ebenfalls zu bestimmen und zu protokollieren. 5 Schüler machten sich Gedanken über das sicherheitsgerechte Vorgehen und planten ein, dass der Aufschlagbereich der Fallprobe durch einige Schüler weiträumig abgesichert werden sollte, damit keine Gefährdung Dritter eintreten kann.

5.3.2.9 Durchführung des Versuches

Entsprechend den schriftlich ausgearbeiteten Vorschlägen der Schüler wurde zunächst die Höhe der 3. Etage des Gebäudes über dem Schulhof durch Lotung ermittelt. Die Lotung geschah mit einem hinreichend schweren Kabel, das keine Schlaufenbildung aufwies. Auf dem Schulhof wurde die Lotung durch einige Schüler überwacht. Erreichte das frei hängende Kabel-Ende die Höhe einer Fensterbank, wurde dies durch Zuruf bekannt gemacht; die Schüler am Fenster der 3. Etage machten dann eine entsprechende Markierung auf dem Kabel. So konnte nicht nur die gesamte Fallstrecke vermessen werden, sondern es konnten auch die Längen der durch die Fensterbänke markierten Streckenabschnitte einzeln bestimmt werden. Die schwarzen Fensterbänke heben sich im Video deutlich von den hellen Fassadenelementen ab und sind daher sehr gut als Referenzpunkte geeignet.

Beim eigentlichen Fallversuch wurden 3 Tennisbälle aus dem Fenster des 3. Stockes geworfen; die Würfe wurden aus verschiedenen Perspektiven gefilmt. Die signalgelben Tennisbälle waren bei jeder Perspektive gut sichtbar; bei den ersten Aufnahmen konnte der filmende Schüler jedoch den Impuls nicht unterdrücken, die Kamera dem bewegten Objekt nachzuführen, was die Aufnahmen ungeeignet machte.

Die anderen Schüler versuchten vom Schulhof aus, mit verschiedenen Stoppuhren die Zwischenzeiten beim Vorbeiflug an den Fensterbänken zu stoppen. Die Schüler äußerten jedoch von sich aus den Vorschlag, diese Werte wegen offensichtlicher Ungenauigkeit der Messung zu verwerfen.

5.3.2.10 Auswertung des Versuches

Die von der Kamera digital erfassten Videodaten wurden über den IEEE1394 Ausgang der Kamera („Firewire“ oder, Sony-Produktbezeichnung, „i.Link“), digital in einen Videoschnittrechner übertragen, wo sie mit der Software „Adobe Premiere“ betrachtet und digital weiterverarbeitet werden können. Durch kontinuierliche digitale Bearbeitung bleibt der eingeprägte SMPTE-Zeitcode der Aufnahme erhalten, so dass auch nach mehrfacher Übertragung und Wechsel des Trägermediums keine Verzerrungen des zeitlichen Ablaufes eintreten können.

Die Erfassung und Übertragung auf PC dient in diesem Projekt nur der besseren Archivierung und der besseren Präsentation; die verwendete Kamera konnte nach der Aufnahme wieder anders genutzt werden. In der Software „Adobe Premiere“ wird der SMPTE-Zeitcode unterhalb des Monitorfensters eingeblendet (in der Abbildung mit einem Pfeil markiert). Mit Hilfe einer Videoprojektion durch einen Datenprojektor wurde diese Funktion zur Auswertung des Experimentes mit den Schülern genutzt.

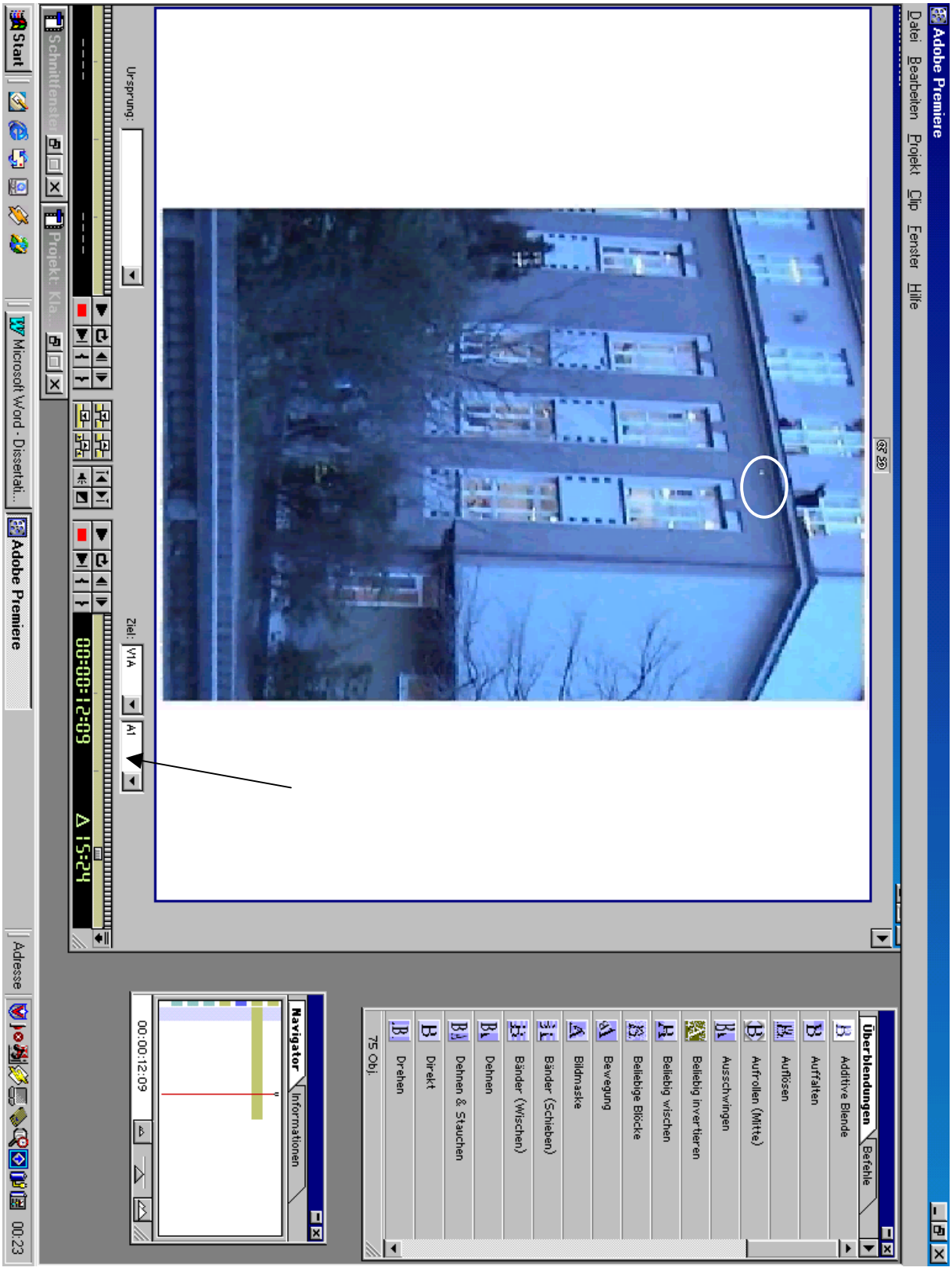


Abbildung 69: Die Aufzeichnung des fallenden Balles (Kreis) in der Videoschnitt-Software. Pfeil: der SMPTE-Zeitcode des Einzelbildes.

Zur quantitativen Auswertung des aufgezeichneten Versuches wurde die grafische Oberfläche des Softwaremodells vom Lehrer modifiziert.

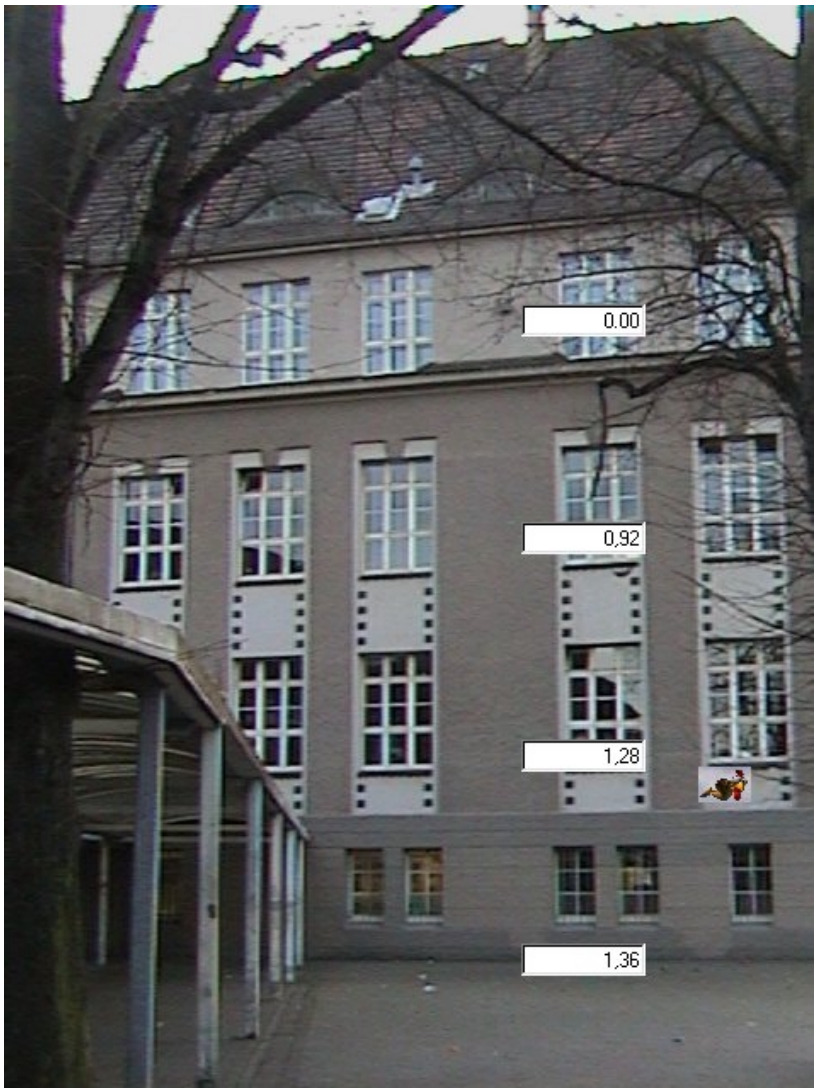


Abbildung 70: Vom Lehrer modifizierte Oberfläche mit „Stoppuhr“ in der Höhe jedes Fensterbrettes.

Hinzugefügt wurden 4 einzeln angesteuerte Text-Boxen, die sich jeweils auf der Höhe der Fensterbretter befinden, die als Referenzmarken genau vermessen sind. Eine entsprechende Veränderung des Programmcodes bewirkt:

- Dass in dem Moment, wo der freie Fall des Moorhuhns gestartet wird, Sekundenzähler in allen Textboxen zu zählen beginnen;

- Dass in dem Moment, wenn das Moorhuhn ein Fensterbrett auf gleicher Höhe passiert, der Zähler in der entsprechenden Textbox anhält und die in diesem Moment aktuelle Zeit bis anzeigt, bis der Programmlauf beendet wird.

In der oben abgebildeten Kopie des Bildschirminhaltes zeigt eine entsprechende Momentaufnahme. Zu diesem Zeitpunkt sind die oberen drei der vier Zähler bereits angehalten worden; die Textboxen zeigen die entsprechenden Zwischenzeiten. Die oberste Textbox ist dem obersten Fensterbrett zugeordnet; sie zeigt korrekt den Wert 0.00 s, denn das oberste Fensterbrett ist der Startpunkt. Die Zuordnung eines eigenen Zählers zu diesem Fensterbrett erfolgte aus mediendidaktischen Überlegungen, um diesem Element der Abbildung für alle

Betrachter sichtbar und eindeutig sowohl den zeitlichen als auch den räumlichen Nullpunkt des Fallversuches zuzuordnen.

Der Zähler in der untersten Textbox zählt in diesem Moment noch; er stoppt in dem Moment, in dem das Moorhuhn in der Höhe der Textbox auf dem Schulhof aufschlagen wird. (Bei der dargestellten Simulation nach 1.60s).

Die dazu vom Lehrer in Abwesenheit der Schüler durchgeführten Änderungen der Software-Simulation sind moderat und wurden in der entsprechenden Unterrichtsstunde zunächst präsentiert und diskutiert, bis von einem gesicherten Verständnis bei den Schülern ausgegangen werden konnte:

In das Unterprogramm „Schritt“, das von einem Timer-Baustein mit internem Zeittakt alle 40 ms aufgerufen wird und für die Verschiebung des Moorhuhns auf dem Bildschirm sorgt, ist ein zusätzlicher Aufruf „Messposten“ eingefügt worden.

```
Private Sub Schritt()
    y = y + 6.85
    T = T + Timer1.Interval

    Moorhuhn.Top = Moorhuhn.Top + y

    Messposten

End Sub
```

Das Unterprogramm „Messposten” prüft bei Aufruf die momentane Position der Oberkante des Moorhuhn-Objektes und setzt mit Hilfe einer Case-Anweisung die Variable n entsprechend des Ausgangs der Prüfung auf einen Wert zwischen 0 und 4. Anschliessend sorgt eine For-Next-Anweisung für eine Aktualisierung der 4 Zähler mit der aktuellen Systemzeit seit dem Start der Simulation; von der Aktualisierung werden jedoch, bedingt durch die spezielle Struktur der For-Next-Anweisung, diejenigen Textboxen ausgeschlossen, deren Index kleiner als der aktuelle Wert der Variablen n ist – d. h., die vom Moorhuhn bereits passiert worden sind.

```
Private Sub Messposten()
Select Case Int(Moorhuhn.Top)
    Case 0 To 4559
        n = 1
    Case 4560 To 6479
        n = 2
    Case 6480 To 8279
        n = 3
    Case 8280 To 10000
        n = 4
        y = 0
        Timer1.Enabled = False
End Select

For i = n To 3
    Text1(i).Text = T / 1000
Next i
End Sub
```

Damit soll so gut wie möglich die Funktion einer gedachten Objektklasse „Messposten“ bei diesem Versuch modelliert werden. Die Objekte dieser Klasse haben als Attribute eine laufende Stoppuhr, verfolgen die Position des Zielobjektes und vergleichen diese mit ihrer eigenen Position. Ist das Zielobjekt auf der gleichen Höhe, hält jedes Objekt die eigene Stoppuhr an.

Mit dieser Konstruktion wurde die Arbeitsweise, die schon bei der Messung der gleichförmig geradlinigen Bewegung angewandt worden ist, auf eine für die Schüler einsichtige Weise modelliert und in das Software-Modell des Fallversuches integriert.

Die Schüler konnten nun in dem weiter oben abgebildeten Premiere (Videoschnitt) Arbeitsplätzen aus dem SMPTE-Zeitcode die Zeiten entnehmen, an denen die realen Tennisbälle die Fensterbretter des Schulgebäudes passierten. Anschließend, oder parallel dazu, konnten die Schüler in dem in der folgenden Abbildung gezeigten Visual Basic Arbeitsplatz den Parameter im Unterprogramm „Schritt“ variieren, bis die Zähler in der Softwaresimulation sich optimal an die Zeiten aus dem SMPTE-Zeitcode annähern[144].

[144] Solche Maßnahmen mit dem Ziel, die Bewegung eines realen Objektes zu erfassen, um die Bewegung eines computergenerierten Objektes daran anzunähern, werden in der Medienproduktion als “Motion Capturing” bezeichnet und sind mittlerweile weitgehend automatisiert. Beispielsweise können mit Motion Capturing die Bewegungen realer Schauspieler aufgezeichnet werden, indem eine spezielle Software die Bewegungen von Messpunkten an den Gelenken aus mehreren Kameraperspektiven erfasst und automatisch die Trajektorien ermittelt. Diese werden vielfach im Format MIDI gespeichert - das gleiche Format dient auch der datenreduzierten Speicherung von Musikstücken und der Steuerung von Synthesizern durch Computer. Anschließend können die Daten auf beliebige virtuelle Objekte, z.B. computergenerierte Monster oder Kampfroboter, oder gar auf die Modelle längst verstorbener Schauspieler übertragen werden.

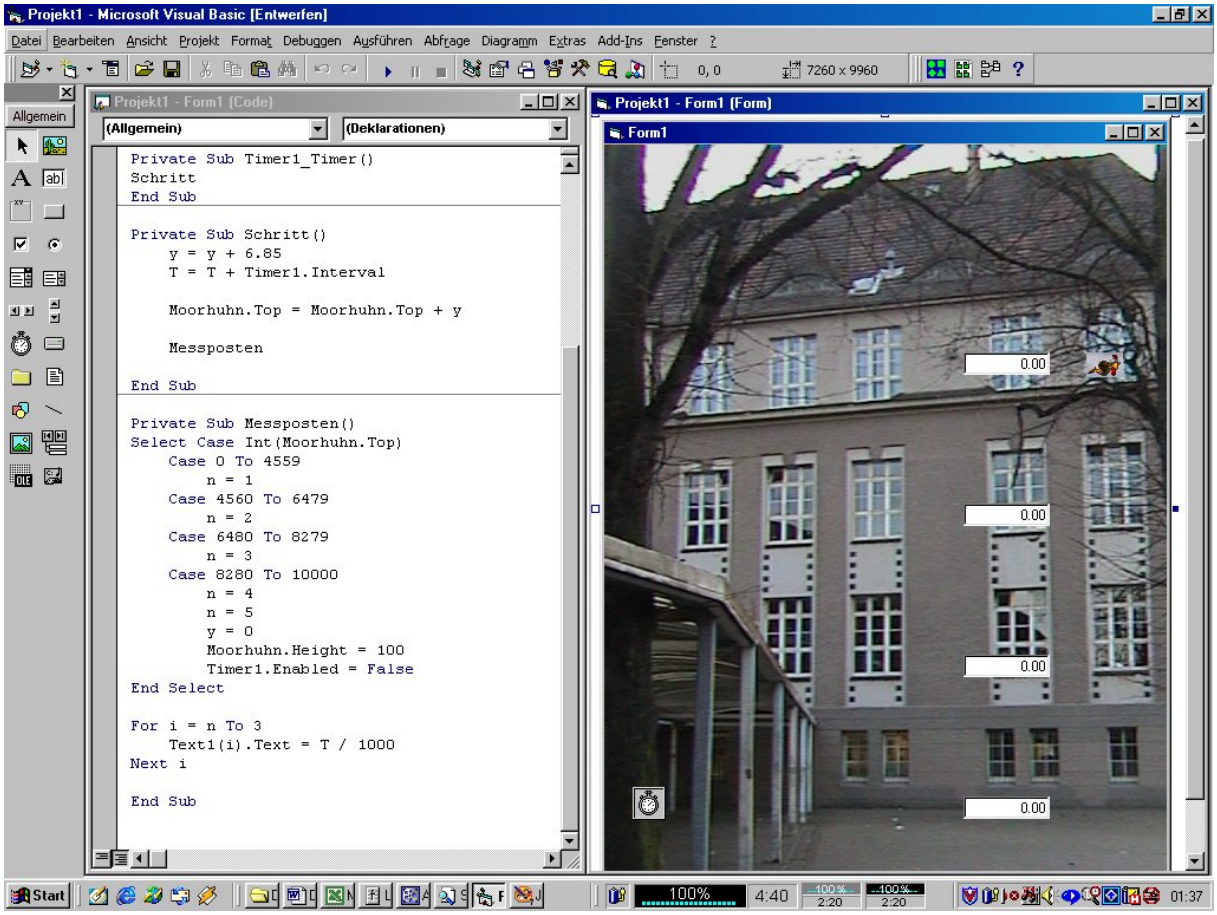


Abbildung 71: Die Arbeitsumgebung der Schüler bei der Anpassung der Simulation an die real gemessenen Werte.

Etage	Strecke	**Realfilm**	Parameter = 6,0	Parameter = 6,5	**Parameter = 6,85**	Parameter = 7,0
2.	5,28 m	**0,92 s**	0,96	0,92	**0,92**	0,88
1.	9,22 m	**1,28 s**	1,4	1,32	**1,28**	1,28
Hof	12,46 m	**1,64 s**	1,68	1,64	**1,6**	1,56

Tabelle 1: Quantitative Auswertung: Vergleich zwischen den Zeiten für Realfilm und Softwaremodell

Eine Einstellung des Parameters auf den Wert 6,85 liefert eine gute Annäherung an die Realität. Auch bei optimaler Anpassung aller Zwischenzeiten liegt der letzte Wert in der Simulation (1,60s) noch etwas niedriger als in der Realität (1,64s). Dies kann mit dem Einsetzen des Luftwiderstandes erklärt werden, der im letzten Abschnitt des Falles natürlich stärker wirkt als vorher, und in der Simulation nicht enthalten ist. Dieser Umstand wurde in der Gruppe diskutiert und führte zu der Entscheidung, die Simulation mit dem Parameter 6,85 als die

Simulation mit der größten Realitätsnähe zu betrachten, da sie über den größeren Teil des Prozesses die realitätsnahesten Werte ergibt. Dies ist gleichbedeutend mit der Entscheidung, den Einfluss des Luftwiderstandes so weit wie möglich vernachlässigen zu wollen.

Bei der Auswertung musste nun lediglich die Einheit des Parameters in das Maßsystem überführt werden, das in der Realität Verwendung findet. Die Programmierumgebung von Visual Basic arbeitet mit einer abstrakten Maßeinheit, die auf den sichtbaren Bildschirmbereich bezogen ist, aber von der gewählten Bildschirmauflösung unabhängig ist. Den Schülern gegenüber wurde die eingängige Bezeichnung „Pixel“ für diese Maßeinheit gewählt, obwohl Pixel sich eigentlich auf die physikalische Auflösung des Bildschirms/der Grafikkarte beziehen. Bei den Realaufnahmen wurden die Fensterbretter als Referenzpunkte gewählt; der Abstand der Referenzpunkte zum Boden ist in der Einheit „Meter“ vermessen worden. Bei der in die Softwaresimulation eingearbeiteten Digitalaufnahme des Gebäudes konnte der Abstand der Referenzpunkte vom Boden durch einfaches Verschieben eines beliebigen Grafik-Objektes in der Maßeinheit der Programmierumgebung ermittelt werden. Es ergab sich ein Umrechnungsfaktor von 453 „Pixeln“ auf dem Bildschirm pro tatsächlich zurückgelegten Meter im realen Experiment, oder umgekehrt entsprechen 2,2 mm in der Realität 1 „Pixel“ auf dem Bildschirm. Die gesamte Fallstrecke umfasste 12,46 m oder 5640 „Pixel“.

Für die Umrechnung des Zeitmassstabes musste lediglich berücksichtigt werden, dass die Kamera im SMPTE-System mit 25 Einzelbildern pro Sekunde arbeitet. Die Softwaresimulation verschiebt das Grafik-Objekt auf dem Bildschirm um den Faktor y bei jedem Aufruf des Unterprogramms „Schritt“, wobei der Wert für y bei jedem Aufruf um den zu wählenden Parameter, letztlich also um den Wert 6,85 Pixel/Aufruf, erhöht wird. Das Unterprogramm wird durch den Timer alle 40 ms aufgerufen, also ebenfalls 25 mal pro Sekunde[145]. Mit dem Umrechnungsfaktor 1 Pixel = 2,2 mm ergibt sich für die gemessene Beschleunigung:

$$g = \frac{6{,}85 Pixel \cdot 2{,}2 \frac{mm}{Pixel}}{(40ms)^2} = 9418{,}75 \frac{mm}{s^2} = 9{,}42 \frac{m}{s^2}$$

Das ist eine mit lediglich 4 % zufriedenstellend geringe Abweichung vom Literaturwert für $g=9{,}81 m/s^2$. Das Verfahren erfüllt also auch die an einen Unterrichtsversuch im Physikunterricht zu stellenden Ansprüche an die Messgenauigkeit. Eine Fehlerdiskussion wurde mit den Schülern durchgeführt; die Schüler nannten als mögliche Fehlerquellen Messungenauigkeit und systematische Fehler wie die Luftreibung, hielten aber auch einen ortsbedingten Fehler für möglich: einige Schüler hatten aus dem Physikbuch entnommen, das der exakte Wert für g je nach Lage auf der Erdkugel in tatsächlich in der ersten Nachkommastelle (Äquator: $9{,}78 ms^{-2}$, Nordpol: $9{,}83 ms^{-2}$) schwanken würde.

[145] Dieses Intervall ist mehr oder weniger willkürlich gewählt worden.

5.3.3 Planung der begleitenden Untersuchung

Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde die aufgewendete Zeit für dieses Unterrichtsreihe auf die gleiche Zeit beschränkt, die auch für die Unterrichtsreihen der Vergleichsgruppen anfiel. Der Aufwand für die Programmierung des Computermodells in differentiellen Schritten ging auf Kosten des Lösens von Übungsaufgaben mit Hilfe von Formeln, d.h. geschlossenen Lösungen. Daher ist auf der Negativseite zunächst zu vermuten, dass die Schüler der Probandengruppe:

- geringeren Zugang zu den die Vorgänge beschreibenden geschlossenen Formeln haben,
- weniger motiviert sind, geschlossene Formeln zur Lösung eines gegebenen Problems einzusetzen.

Die Untersuchung soll vor allem erheben, wie deutlich die Unterschiede ausfallen. Dies liefert die Grundlage für eine Diskussion, inwieweit die Vorteile des differentiellen computergestützten und projektorientierten Zugangs (u.a. Kreativität, Problemlösefähigkeit, IT- und Medienkompetenz, Teamfähigkeit...) vor dem Hintergrund einer möglicherweise geringer ausgebildeten Fachrechenfähigkeit der Schüler zu rechtfertigen ist.

Im Zusammenhang mit Physikunterricht wird vielfach kolportiert, er „wäre einfach nichts für Mädchen“. Empirische Studien[146] und Erfahrung mit nicht-koedukativen Physik- und Technikunterricht wie etwa der „Sommer-Universität für Frauen“ an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg wiedersprechen dieser einfachen These, und deuten ein komplexeres Problemfeld an, dass das Rollenverhalten junger Männer und Frauen mit einbezieht. Ähnliche Vorurteile bestehen gegen „Mädchen und Computer“. Daher ist ein weiterer, wichtiger Untersuchungsaspekt: wird durch das Konzept der Unterrichtsreihe eine Personengruppe bevorzugt oder benachteiligt? Die Ergebnisse und Aussagen der Schüler werden entsprechend differenziert betrachtet, Asymmetrien mit Hilfe von Gruppengesprächen analysiert.

Der Einsatz von Computern und Multimedia im Physikunterricht wird vor dem Hintergrund der aktuellen Mediendidaktischen Diskussion zunächst als „Gut an sich“ betrachtet; das Projektorientierte Vorgehen und der Vollzug einer vollständigen Lernhandlung innerhalb der Unterrichtsreihe – mit der Softwaresimulation als „Produkt“, das durch den physikalischen und messenden Vergleich mit der Realität geprüft und bewertet wird – leitet sich aus den Betrachtungen der Abschnitte 1 und 2 her. Welche Vorteile sich, objektiv messbar, für die Schüler der Lerngruppe ergeben, soll unvoreingenommen durch die explorative Datenerhebung mit einer Bandbreite von Testfragen bestimmt werden.

---

[146] Harreis, H.; Riede, H.M.; Sieger, H.; Treitz, N.: Empirische Untersuchungen über Erfahrungen und Meinungen von Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern zum Computer und seiner Nutzung im Unterricht, 1989.

5.3.3.1 Statistische Maße

Bei der Auswertung der Datenbasis werden folgende Maße ermittelt:

Univariate Statistik:

Mittelwertsmaße

Verbreitete Mittelwertsmaße sind der häufigste Wert einer Verteilung (Modus), der Wert, der von genauso vielen anderen Werten der Verteilung über- wie unterschritten wird (Median) und das arithmetische Mittel. Das arithmetische Mittel ist die Summe aller Messwerte, geteilt durch ihre Anzahl. Es setzt metrische Daten voraus. In dieser Auswertung wird das **arithmetische Mittel** überall dort erhoben werden, wo die Schüler eine Aussage wie z.B. „ich möchte mehr mit dem Physikbuch arbeiten“ auf einer Skala von –3 bis +3 bewerten.

Streuungsmaße

Streuungsmaße geben Aufschluss über den Grad der Homogenität oder Heterogenität der Werte innerhalb der Verteilung. Das gebräuchlichste Streuungsmaß ist die **Standardabweichung S**. Bei vielen Streuungsmaßen wird das bereits erhobene Arithmetische Mittel als Bezugspunkt genommen und in irgendeiner Form die Summe der Abweichungen vom Mittelwert gebildet. Die **Variation** ist die Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert, die auch Fehlerquadrate genannt werden. Die Minimierung der Variation ist die Grundlage vieler numerischer Regressionsverfahren. Einsichtigerweise steigt die Variation mit der Größe der Stichprobe, weil jeder vom Mittelwert verschiedene Wert der Verteilung die Variation erhöht. Um zwei verschieden große Verteilungen vergleichen zu können, wird die Variation häufig normiert, also durch die Stichprobengröße N dividiert, und heißt dann **Varianz**.

Das entstehende Maß hat, bedingt durch die Quadrierung der Abweichungen vom Mittelwert, eine andere Dimension als die Werte der zugrundeliegenden Verteilung. Deswegen wird üblicherweise die Wurzel der Varianz verwendet; dies ist die Standardabweichung S. Bei dieser Erhebung wird die Standardabweichung als Maß der Heterogenität verwendet. In einigen Fällen wird zusätzlich die Variation, als der Standardabweichung vor der Normierung zugrunde liegender Wert, angegeben.

Ermittlung der Werte aus der Datenbasis

Das Datenbank-Objekt mit dem Namen „parser” nimmt die Anfrage nach einem Feld (z.B. Akzeptanz von Computern) und eventuell festgelegte Einschränkungen (z.B. nur Werte für Datensätze mit Geschlecht = „f“) entgegen und formuliert daraus eine SQL-Abfrage an die eigentliche Datenbank. Die Datenbank gibt einen „Record“ zurück, die alle Werte die zur Anfrage passen enthält. Diese Werte werden in einem ersten Durchgang aufsummiert, bis das Ende des Records erreicht ist. Einige If...then... Anweisungen dienen dazu, ungültige Werte vor der Summierung zu eliminieren. Eine Zählvariable, die mit jedem gültigen gezählten Wert inkrementiert wird, liefert die Anzahl der aufsummierten Werte. Summe und Anzahl ergeben den Mittelwert.

Im zweiten Durchgang werden mit der Anweisung

```
Do While Not Daten.EOF

      Summe = Summe + (Daten(Spalte) - Mittelw) ^ 2

      Daten.MoveNext

Loop
```

Die quadratischen Abweichungen vom Mittelwert aufsummiert. Nach Ende des Durchlaufes enthält die Variable `Summe` bereits die Variation, die direkt an die aufrufende Funktion übergeben werden kann. Im Anschluss wird mit Hilfe der bereits ermittelten Anzahl N die Standardabweichung errechnet und übergeben.

5.3.3.2 Planung des Vorgehens

Die Evaluation geschieht in einem 3-stufigen Erhebungsverfahren.

Erste Stufe: Explorative Datenerhebung

Zunächst wird in beiden Gruppen mit einem standardisierten Fragebogen eine explorative Datenerhebung unternommen. Ziel ist die Prüfung einer Reihe von Indikatoren:

Motivations-Indikatoren

- Bereitschaft der Lerngruppe, physikalische Phänomene im Alltag mit naturwissenschaftlichen Herangehensweisen zu hinterfragen
- Bereitschaft der Lerngruppe, mit Computern umzugehen
- Bereitschaft der Lerngruppe, systematische Problemlösungswege zu verfolgen
- Bereitschaft der Lerngruppe, sich durch naturwissenschaftliche Fachliteratur zu informieren.

Verständnis-Indikatoren

- Können die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung korrekt wiedergegeben und trennscharf voneinander abgegrenzt werden?
- Welche Werkzeuge zur Lösung eines affinen Problems sind bekannt, welche werden bevorzugt?

Die Ergebnisse der Erhebung werden möglichst schnell einer Sichtung unterzogen. Dabei werden die Ergebnisse der Probandengruppe mit dem Ergebnissen der zwei Vergleichsgruppen verglichen.

Zweite Stufe: Gruppeninterview

Dies dient als Grundlage zur Planung der zweiten Stufe, des Gruppeninterviews, das in der Folgewoche mit den beteiligten Schülern durchgeführt wird. Diese werden zu ihren Aussagen befragt, und es werden mit diesen zusammen mögliche Begründungen gesucht.

Dritte Stufe: Feldversuch

Nachdem auf diese Weise charakteristische Effekte des Unterrichts mit der Methode der objektorientierten Modellbildung explorativ erhoben und mögliche Zusammenhänge dieser Effekte durch das Gruppengespräch gefunden wurden, ging es beim Feldversuch um die empirische Bestätigung des gefundenen mit einer möglichst großen Stichprobe von Schülern.

5.3.4 Durchführung der begleitenden Untersuchung

Für die erste Erhebungsstufe, die explorative Erhebung, wird eine breite Auswahl von Fragestellungen in der Gruppe untersucht:

1. und 6. Akzeptanz des vermittelten Inhalte und der verwendeten Methoden (kurz- und langfristig)
2. Assoziationstest – Fachsprachenbeherrschung
3. Problemlösefähigkeit
4. Unterschiede der lebensweltlichen Wahrnehmung
5. Unterschiede der analytische Wahrnehmung

Zusätzlich wurden Sozialdaten erhoben, die eine eindeutige Zuordnung der Befragten zu dem von ihnen gehörten Kurs (nach dem Kurslehrer), ihrem Alter, und ihren mathematischen Grundkenntnissen (Grundkurs oder Erweiterungskurs) ermöglicht. Allen Teilnehmern wurde die Möglichkeit gegeben, ihren Fragebogen zu anonymisieren, indem sie statt ihres Realnamens einen Decknamen eingeben konnten. Die Abgabe der Fragebögen geschah an eine Vertrauensperson (Kurslehrer bei den Vergleichgruppen, Klassensprecherin bei der Versuchsgruppe), die eine Vergleichsliste mit eindeutiger Zuordnung von Fragebogen zu befragter Person führt, falls Rückfragen gestellt werden müssen.

Auf die Angabe von Namen bzw. Decknamen konnte jedoch nicht völlig verzichtet werden. Gewünscht war, dass die Schüler Aussagen formulierten, zu denen sie persönlich stehen konnten, und die sie auch im folgenden Gruppengespräch bekräftigen bzw. erläutern konnten. Altersstufenspezifisch wäre damit zu rechnen, dass die Schüler einer Jahrgangsstufe 10 im Schutz der Anonymität missbräuchliche bzw. unsinnige Angaben tätigen würden. Die Anonymisierung durch eine zwischengeschaltete Vertrauensperson hilft hier, Missbrauch verhindern und gleichzeitig die Anonymität der Befragten schützen zu können.

Die zweite Erhebungsstufe fand in Form eines gelenkten Gespräches mit der Gesamtgruppe statt. Bei der Auswertung der Fragebögen wurden eine Reihe von Auffälligkeiten deutlich,

mit der sich die Versuchsgruppe von den Vergleichsgruppen abhob. Zu deren Erklärung wurden im Verlauf der Auswertung der Fragebögen eine Reihe von Hypothesen formuliert. Diese Hypothesen sollten durch das eine Woche später stattfindende Gruppengespräches verifiziert oder falsifiziert werden. Das Gespräch wurde auf Band aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet.

Der Feldversuch mit 149 beteiligten Schülern diente vor allem dazu, die gefundenen Effekte empirisch zu untermauern. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Gruppen und unter Rücksichtnahme auf die gegebenen Randbedingungen – also vor allem dem engen Zeitplan des besuchten Unterrichtes – wurde das Gruppengespräch hierbei nicht wiederholt.

Da die Tagesordnungspunkte des Gruppengespräches sich direkt auf die entsprechenden Fragestellungen des Erhebungsbogens abbilden lassen, werden bei der folgenden Darstellung die Ergebnisse des Gruppengespräches unmittelbarer auf die entsprechende Frage des Bogens folgend dargestellt. Damit lässt sich der Zusammenhang zwischen explorativer Datenerhebung, Auswertung, Hypothesenformulierung und Hypothesenprüfung im Gruppengespräch am besten wiedergeben. Im Anschluss wird auf das Ergebnis des Feldversuches Bezug genommen.

5.3.4.1 Frage 1: Akzeptanz (kurzfristig) des erlebten Unterrichtes und seiner Inhalte.

Zum Bereich Akzeptanz wurde auf dem Fragebogen eine Liste mit 5 verschiedenen Aussagen angeboten, die angekreuzt werden konnten. Mehrfachaussagen waren explizit möglich.

Frage 1:

Du hast in den letzten Wochen intensiv mit dem Thema „Geschwindigkeit und Beschleunigung“ beschäftigt.

Kreuze bitte die für Dich zutreffende Aussage an:

Ich werde jetzt häufiger über Geschwindigkeit und Beschleunigung im Alltag nachdenken	
Ich fand es ganz interessant	
Es war für mich Unterricht wie jeder andere auch	
Ich habe mich nicht gerne damit beschäftigt	
Ich will nichts mehr davon hören	

Die inneren drei Antwortmöglichkeiten enthalten drei Aussagen zum Grad des Interesses, das der jeweilige Unterricht in seinem Verlauf hervorgerufen hat:

- Der Unterricht wurde als interessant empfunden (+1 Punkt)
- Es wurde als Unterricht wie jeder andere auch empfunden (0 Punkte)
- Der Schüler hat sich nur ungern mit dem Unterricht beschäftigt (-1 Punkt)

Von diesen drei Aussagen lässt sich nur jeweils eine widerspruchsfrei ankreuzen. Damit erfüllt der innere Teil dieser Fragestellung die Funktion einer ordinalskalierten Skala.

Am äußeren Ende der Skala befinden sich jedoch Aussagen, die vom Schüler auch zusätzlich, bzw. als Ergänzung zu den bereits getroffenen Aussagen angekreuzt werden können. Diese betreffen die langfristige Wirkung des Unterrichtes auf die Akzeptanz des vermittelten Wissens beim Schüler:

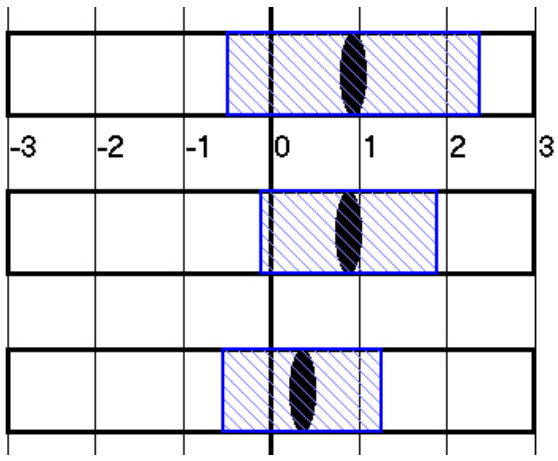
- Ich werde jetzt häufiger über Geschwindigkeit und Beschleunigung im Alltag nachdenken.

oder

- Ich will nichts mehr davon hören.

Die langfristigen Auswirkungen von Unterricht sind für die Erhebung natürlich von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund wurde einer zur langfristigen Wirkung getroffenen Aussage die Wichtigkeit +2 Punkte (ich werde jetzt häufiger darüber nachdenken) oder –2 Punkte (ich will nichts mehr davon hören) zugewiesen. Diese Punkte addieren sich zu den einfach gewerteten Aussagen, so dass als maximale Punktwerte für die Antworten des 1. Frageteils (+3) bzw. (-3) Punkte in Frage kommen; es ergibt sich insgesamt eine siebenstufige ordinalskalierte Skala mit eindeutigem Mittelpunkt bei 0 (Unentschieden).

5.3.4.1.1 Ergebnisse

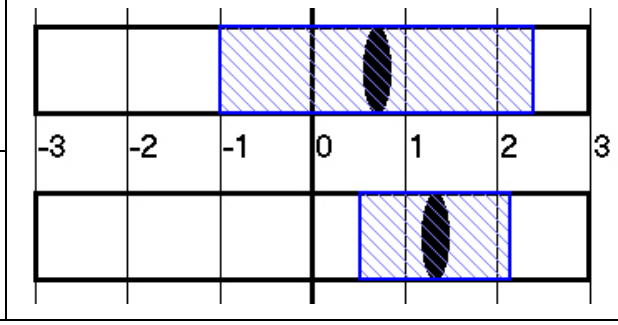
Gruppe	**Mittelw.**	**Variation**	**S**	**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	0,94	30,9	1,44	
Feldversuch	0,89	149	1,01	
Vergleichs-gruppen	0,36	22,4	0,91	

Wie ersichtlich, sind die Werte für kurz- und langfristiges Interesse an den Inhalten des Kurses bei den Versuchsgruppen insgesamt deutlich höher als bei den Vergleichsgruppen. Die hohe Standardabweichung verrät aber auch, das die Urteile breit gestreut sind. An dieser Stelle ist es sinnvoll, die Gruppen auf eine innere Polarisierung hin zu überprüfen: Gibt es innerhalb der Gruppen Untergruppen, die sich jeweils in ihrem Urteil deutlich unterscheiden, und lassen sich diese Untergruppen noch an anderen Merkmalen voneinander unterscheiden?

Von besonderer Brisanz ist hierbei die Frage: Führt das Kurskonzept, das ja besonders intensiv auf den konstruktiven Einsatz von Computern beruht, zu einem erhöhten Interesse bei Jungen und einem korrespondierenden Desinteresse bei Mädchen?

Zur Beantwortung dieser Frage sollen die Antworten der Schüler der Laborgruppe daher zunächst nach Geschlechtern getrennt ausgewertet werden.

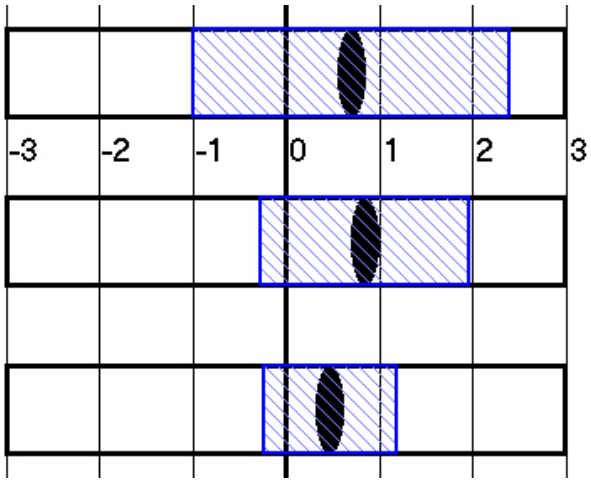
5.3.4.1.2 Ergebnisse: nur Laborgruppe

Geschlecht	Mittelw.	Variation	S	Grafischer Vergleich
Weiblich (F)	0,7	26,1	1,7	
Männlich (M)	1,3	3,3	0,82	

Wie man sieht, ist das Interesse sowohl der Jungen als auch der Mädchen an den Inhalten des Kurses im Mittelwert recht gut. Die Differenz von 0,6 Punkten zwischen den Gruppen ist schon aufgrund der Wertestreuung nicht signifikant hoch. Formal kann man also nicht davon sprechen, dass Mädchen im allgemeinen von einem Kurskonzept mit dem Ansatz Objektorientierter Modellbildung unter konstruktiven Einsatz von Computern und neuen Medien abgestoßen würden.

Auffällig ist jedoch die mehr als doppelt so hohe Standardabweichung der Antworten der Mädchengruppe, verglichen mit den Antworten der Jungengruppe. Die insgesamt hohe Standardabweichung der Antworten der Versuchsgruppe im Vergleich zu den Vergleichsgruppen wird also fast ausschließlich von den Antworten der Mädchen hervorgerufen! Hier dürften noch grundlegendere Ursachen als die Kursinhalte selbst eine Rolle spielen.

Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen (nur **F = Mädchen**) zwischen **Versuchsgruppe** und **Vergleichsgruppen**:

Gruppe	**Mittelw.**	**Variation**	**S**	**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe (N=10)	0,7	26,1	1,7	
Feldversuch (N=70)	0,89	87,2	1,12	
Vergleichs-gruppen (N=17)	0,47	8,23	0,72	

Die Standardabweichung der Antworten der Mädchen der Versuchsgruppen deutlich über der Standardabweichung der Antworten der Mädchen der Vergleichsgruppe. Diese Form des computerunterstützten Unterrichtes scheint also zu einer ungewöhnlichen Polarisierung der Mädchen zu führen. Am ausgeprägtesten ist die Polarisierung unter den Mädchen, die unter den stark kontrollierten Bedingungen der Laborgruppe gelernt haben. Bei den 70 Mädchen, die am Feldversuch teilgenommen haben, tritt diese Polarisierung nicht mehr so scharf zum Vorschein. Wir gehen davon aus, dass hier die zahllosen nicht zu kontrollierenden Vorbedingungen und Randbedingungen an den unterschiedlichen Schulen für die teilweise Verdeckung eines in der Laborgruppe deutlich zutage getretenen Effektes sorgt.

5.3.4.1.3 Hypothesenformulierung

Denkbar sind Ursachen im grundlegenden Rollenverständnis der Mädchen im Umgang mit Computern und naturwissenschaftlichen Inhalten. Die Hypothese ist, dass Mädchen in ihrem Umgang mit Computern innerfamiliär noch mit einem differenzierten Rollenverständnis aufwachsen. Hier könnte in der Gruppe der Mädchen eine Zweiteilung herrschen zwischen denen, denen in ihrem häuslichen Frauenverständnis bereits eine umfassende „computer literacy“ zugestanden wird, und solchen, die mit der konventionellen Vorstellung von Computern als Männerdomäne aufgewachsen sind.

5.3.4.1.4 Gruppengespräch

Die entsprechende Fragengruppe eruierte die Art der häusliche Verwendung von Computern in der Gruppe der Mädchen. Bei der Beantwortung der Fragen wurden keine Wortmeldungen abgewartet, sondern es wurden gezielt einzelne Mädchen der Gruppe angesprochen. Damit sollte eine einigermaßen repräsentative Auswahl erzwungen werden; im anderen Fall wäre es denkbar gewesen, dass sich nur die selbstbewussten Mädchen zu Wort gemeldet und ihren Umgang mit Computern geschildert hätten, der in diesem Fall wahrscheinlich von genau diesem hohen Selbstbewusstsein geprägt ist.

Die Antworten haben die Hypothese zum Teil bestätigt. Die selbstbewussten und im Kursverlauf positiv auffallenden jungen Frauen gaben an, zu Hause einen eigenen Computer zu besitzen und zu verwenden. Auch die Mädchen, die sich im Unterricht bislang sehr zurückhaltend verhalten haben, gaben aber an, zu Hause über einen Computer zu verfügen. Die Möglichkeit des Zugriffes auf einen privaten PC ist also kein trennendes Merkmal innerhalb der Gruppe.

Eine präzisere Nachfrage ergab jedoch, dass zahlreiche Mädchen sich zu Hause einen Computer „mit ihren Brüdern teilen". Auf die weitere Nachfrage, wer diesen Computer häufiger benutzt, kam zögerlich die Antwort, dass der Bruder den Computer deutlich häufiger nutzen würde.

5.3.4.1.5 Interpretation

Die Hypothese scheint sich damit zu bestätigen; es bleibt jedoch noch Raum zu einer Spekulation bis weit in den privaten Bereich der Lebenswelt junger Schülerinnen, die nicht Gegenstand dieser Arbeit sein kann. Denkbar ist jedoch, dass bei den Schülerinnen im privat-häuslichen Bereich ein Effekt auftritt, der ähnlich auch in zurückliegenden Untersuchungen zur Koedukation im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht beobachtet worden ist: Dort beobachtete man in homogenen Mädchengruppen einen selbstbewussten Umgang bei Gruppenarbeit mit physikalischen Experimenten und eine faire Rollenverteilung. Im koedukativen Unterricht dagegen halten sich die Mädchen stärker zurück und suchen möglichst passive Rollen wie die der Protokollantin[147] [148].

Werden die Erkenntnisse aus der zitierten Erhebung auf den auf den vorliegenden Fall angewandt, so könnte man für die Nutzung von Rechnern im häuslichen Bereich folgendes Szenario annehmen: Sind die Schülerinnen Einzelkinder, oder gibt es in dem Haushalt nur Mädchen, geschieht eine selbstbewusste Nutzung des Rechners. Wird der Rechner mit männlichen Geschwistern geteilt, treten die Mädchen im ersten Zweifelsfall eher von ihrem Anspruch zurück. Rechner der Klasse „Personal Computer" sind, wie der Name bereits andeutet, durch zahlreiche Maßnahmen für einen bestimmten Benutzer zu personifizieren. Persönliche Bildschirmhintergründe, Bildschirmmotive, Softwareinstallationen und -deinstallationen und eine in weiten Teilen auf einen bestimmten Nutzer angepasste Benutzerführung machen den Rechner für eine zweite Person nur noch erschwert bedienbar. Die zweite Person findet sich auf dem „fremden" Rechner nicht so einfach zurecht wie der Erstbenutzer und bekommt durch die Anpassungen ständig das Gefühl vermittelt, sich auf fremden Territorium zu bewegen. So kann es auf Dauer zu einer „schleichenden Inbesitznahme" des Computers durch den Bruder kommen.

In Familien mit traditionellem Verständnis der Geschlechterrolle ist dieses Szenario wahrscheinlicher als in Haushalten mit ausgeprägtem Bildungsdenken. So könnte es auch im Zeit-

---

[147] Harreis 1989.

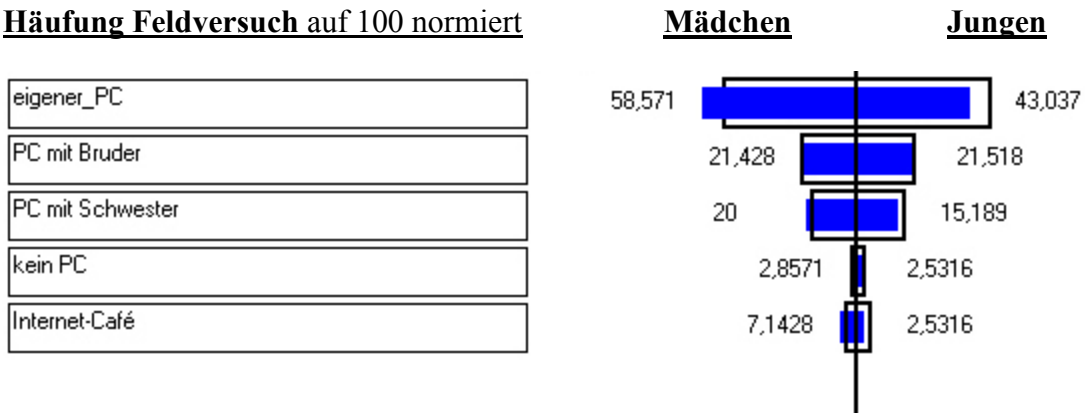
[148] Beinke, L.; Habel, K.M.; Harreis, H.; Richter, H.; Sieger, H.: Förderung naturwissenschaftlich-technischer Bildung für Mädchen in der Realschule in Nordrhein-Westfalen. Gießen/Münster/Duisburg/Essen: Verlag Polytechnik/Arbeitslehre, 1991.

alter einer schichtenübergreifenden allgemeinen Verfügbarkeit von Computern zu einer Benachteiligung von Mädchen unterer Schichten beim Umgang mit Computern kommen. Die damit verbunden Unsicherheiten könnten eine Erklärung für die vorgefundene Streuung der Computerakzeptanz bei den Mädchen der Versuchsgruppe darstellen.

5.3.4.1.6 Feldversuch

Um diesen Faktor im Feldversuch einschätzen zu können, wurde in den beim Feldversuch verwendeten Fragebögen eine zusätzliche Frage nach dem privaten Zugriff auf einen Personal Computer gestellt. Das nach Geschlechtern differenzierte Ergebnis:

Auswertung Frage 7: Nutzungsmöglichkeiten für Rechner im privaten Umfeld



Vor dem oben dargestellten Problem erscheint es zunächst beruhigend, dass immerhin etwa die Hälfte der Schüler im privaten Umfeld Zugriffsmöglichkeiten auf einen eigenen PC hat. Besonders günstig ist, dass sogar mehr als die Hälfte der Schülerinnen einen eigenen PC hat, der nicht mit Geschwistern geteilt zu werden teilen braucht. Dass die Verteilung asymmetrisch ist erstaunt zunächst. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Eltern schon aufgrund beobachteter Auseinandersetzungen um den Computer entschieden haben, ihrer Tochter einen eigenen PC zu beschaffen.

5.3.4.2 Frage 6: Akzeptanz der verwendeten Medien

Frage 6

Demnächst werdet Ihr in der Physik mit einem neuen Thema beginnen. Auf welche Weise würdest Du Dich gerne mit diesem Thema beschäftigen?

Kreuze mehr rechts an, wenn Du der Aussage zustimmst, kreuze mehr links an, wenn Du der Aussage nicht zustimmst.

Frage 6a: Ich würde gerne mit dem Computer arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Frage 6b: Ich würde gerne mit dem Physikbuch arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Frage 6c: Ich würde gerne mit Experimenten arbeiten

Nein, bloß nicht !							**Ja, sehr gerne!**

Der Frageteil 6 ist thematisch stark verwandt mit dem Frageteil 1. hier sollen die Schüler nochmals mit Hilfe einer Ordinalskala differenziert zu den im einzelnen verwendeten Medien der Unterrichtsreihe Stellung nehmen.

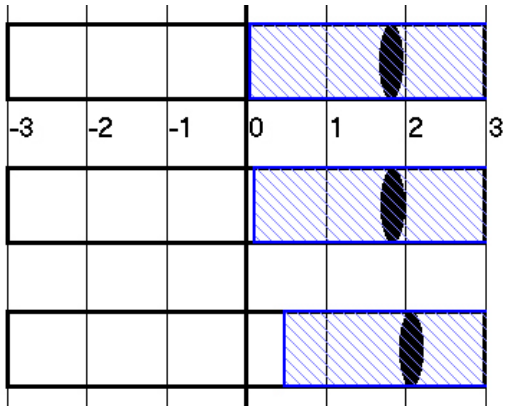
Obwohl Frageteil 6 prinzipiell eine Differenzierung des Frageteil 1 darstellt, wurde dieser Teil auf dem Fragebogen nicht in räumlicher Nähe zum Teil 1 angeordnet. Dies hat zwei Gründe:

- Während der Frageteil 1 den Fragebogen eröffnet, indem er eine auf die Vergangenheit des Kurses gerichtete Frage stellt, ist der Frageteil 6 auf die Zukunft einer nun anstehenden Unterrichtsreihe gerichtet;
- Vorliegende Erfahrungen[149] führen zur Vermutung, dass die befragten Personen bei einer zu großen Anhäufung von Ordinalskalen mit nachlassender Konzentration reagieren. Dabei sinkt nach unserer Beobachtung die Bearbeitungszeit pro Frage deutlich, die Antworten der untereinander liegenden Skalen tendieren dazu, geometrische Muster anzunehmen. Bei Schülern der Jahrgangsstufe 10 ist aufgrund der altersspezifisch geringen Konzentrationsfähigkeit durch ein abwechselungsreiches Fragebogendesign verstärkt auf diesen Effekt Rücksicht zu nehmen.

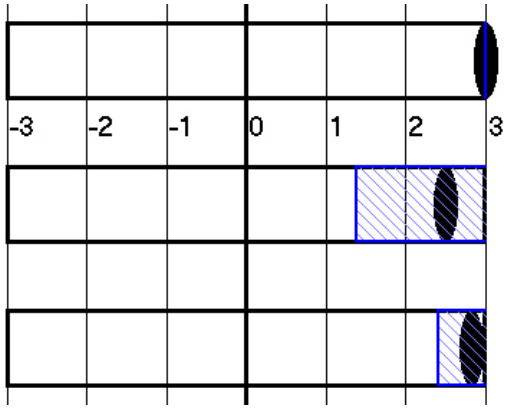
[149] Bresges, A.; Hunger, A.; Schwarz, F.; Werner, S.: Einführung neuer Medien in die Hochschulausbildung: sozialkognitive Aspekte der Software-Evaluation. In: Scheuermann, F. (Hrsg.): „Campus 2000: Lernen in neuen Organisationsformen (Tagungsband)“ Seite 347-354. Münster: Waxmann, 2000

Bei den hier dargestellten Grafiken wird die Streuung der Werte, mit der Standardabweichung als Maß, in beide Richtungen vom Mittelwert der Antworten als blau schraffierte Fläche angedeutet. Bei einer Normalverteilung enthält diese Fläche 63% aller Antworten. Dabei habe ich mich dazu entschieden, mit der angedeuteten Streuung innerhalb des Wertebereiches der Antworten zu bleiben. Da keine Antworten X aus der Menge { X <(-3) Λ X > 3 } möglich waren, macht es auch keinen Sinn, eine Streuung in diesen Wertebereich hinein anzudeuten.

5.3.4.2.1 Ergebnisse Frage 6a

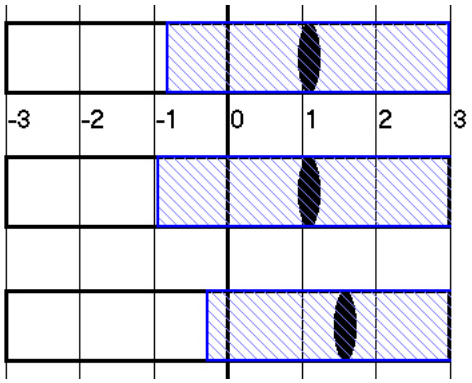
Frage 6a: **Akzeptanz Computer**				**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	1,81	46,4	1,76	
Feldversuch	1,84	449,4	1,75	
Vergleichs-gruppen	2,07	67,8	1,59	

Die Antworten auf Frage 6a spiegeln exakt die in Frage 1 gefundene geschlechtsspezifische Problemstellung. Der Wunsch aller Jungen, Computer in Zukunft bzw. weiterhin im Physikunterricht einzusetzen, ist deutlich; die Streuung der Antworten innerhalb der Jungen der Laborgruppe könnte geringer nicht sein.

Frage 6a (nur Jungen): Akzeptanz Computer				**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	3	0	0	
Feldversuch	2,49	95,7	1,11	
Vergleichs-gruppen	2,82	1,6	0,40	

Auch in den Gruppen der Mädchen ist der Wunsch nach Einsatz von Computern vorhanden. Dies betrifft sowohl die Mädchen der Versuchsgruppen, als auch die der Vergleichsgruppen. Jedoch differenziert sich das Antwortverhalten der Mädchen generell wesentlich stärker aus.

Wir finden bei Einzelbetrachtung der Fragebögen zahlreiche Mädchen, die den Wunsch nach Einsatz von Computern sehr deutlich äußern (+3), Mädchen, die sich zurückhaltend äussern (+1) und Mädchen, die den Einsatz von Computern doch eher ablehnen (-1, -2). Im Mittelwert also ein positives Votum für Computer, aber eindeutig eine Frage, an der sich bei allen Mädchen die Geister scheiden.

Frage 6a (nur Mädchen): Akzeptanz Computer	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	1,1	32,9	**1,91**	
Feldversuch	1,1	282,3	**2,04**	
Vergleichs-gruppen	1,59	56,1	**1,87**	

Die Mittelwerte der Antworten zu 6a für alle Gruppen ohne Differenzierung der Geschlechter ist eine Aussage mit geringem Wert. Da die Antworten der Mädchengruppen und die Ant-

worten der Jungengruppen jeweils in der gleichen Größenordnung liegen, wird die Höhe des Mittelwertes nur von der jeweiligen Verteilung der Geschlechter in der Gruppe bestimmt! Bei getrenntgeschlechtlicher Auswertung ist sichtbar, dass die Akzeptanz von Computern bei den Mädchen der Versuchsgruppen insgesamt zwar vorhanden, aber tendenziell etwas niedriger ist als die der Mädchen der Vergleichsgruppen. Diese Tendenz wäre zwar Angesichts der sehr hohen Wertestreuung zu vernachlässigen, soll aber dennoch im Rahmen des Gruppengesprächs beleuchtet werden.

5.3.4.2.2 Hypothesenformulierung

An der Willy-Brandt-Schule Mülheim werden seit 5 Jahren intensiv Computer auch außerhalb des Informatikunterrichtes im Unterricht eingesetzt. Das Medienkonzept der Willy-Brandt-Schule sieht den Einsatz des Computer vor:

- als Lehr/Lernmedium im Fachunterricht unter Einsatz multimedialer Lern- und Präsentationssoftware, in Verbindung mit Videoprojektoren oder im Gruppenlernen vor PC,
- als Arbeitsmittel im Informatikunterricht, wo vor allem der Einsatz von Office-Software für kaufmännische Anwendungen erlernt wird,
- als System des Informationsumsatzes im Technikunterricht, wo Aufbau und Vernetzung von PC Gegenstand von Kursen des Wahlpflichtbereiches sind,
- als Zugang zum Internet.

Weiterhin kennen die Schüler PC als Spiel- und Unterhaltungsgerät aus dem privaten Bereich. Ich gehe davon aus, dass die oben genannten Anwendungsgebiete das Bild der befragten Schüler im Lauf ihrer 4-jährigen Schulzeit an der Willy-Brandt-Schule nachhaltig geprägt hat.

Allein auf die Versuchsgruppe bezogen gehe ich davon aus, dass die intensive und konzentrierte Arbeit mit Computer an physikalischen Inhalten den Schülern ein neuartiges Bild des Computers als Arbeitsmittel zur Objektorientierten Modellierung vermittelt hat. Die Hypothese ist, dass die Schüler der Versuchsgruppe ein differenzierteres Bild vom Computer im Physikunterricht gewonnen haben und dieses Bild nutzen, um sich bei der Beantwortung der Frage 6a eine Vorstellung des Computereinsatzes in der kommenden Unterrichtsreihe machen. Diese Vorstellung muss sich zwangsläufig von der Vorstellung der Schüler der Vergleichsgruppen unterscheiden, die den PC-Einsatz allein mit dem typischen Medienkonzept der Willy-Brandt-Schule und dem privaten/spielerischen Einsatz in Verbindung bringen, und äußert sich in einer insgesamt positiven, aber dennoch etwas vorsichtigeren Einstellung. Wie ist diese differenzierte Vorstellung?

5.3.4.2.3 Gruppengespräch

Die entsprechende Fragengruppe versuchte, das differenzierte Bild der Schülerinnen und Schüler vom Einsatz des Computer im zukünftigen Physikunterricht getrennt nach wahrgenommenen Vorteilen und wahrgenommenen Nachteilen/Risiken zu erfragen.

Zusammenfassung der Antworten:

Vorteile:

1. Nicht so starr wie das Vorgehen nach Lehrbuch

2. Das Erlebnis, durch das „direkt selber programmieren“ die physikalischen Vorgänge handelnd erfahren zu können, ist „angenehm“

3. „Man kann es sich so viel besser vorstellen als im Physikbuch“

Nachteile:

4. Die Schüler äußerten sehr schnell die Wahrnehmung, dass eine Ungerechtigkeit im Unterricht entsteht zwischen den Schülern mit gut fundierten Computerkenntnissen und hervorragendem Zugriff auf private Computer und den Schülern, denen diese Voraussetzungen fehlen.

Jedoch (Gegenstimme einer Schülerin):

5. Es (der Umgang mit Computern) sei von Anfang an gut erklärt worden

An dieser Stelle geschah eine Rückfrage zu dem in der Unterrichtsreihe verwendeten Tutorensystem durch den Befrager.

6. Die Schüler bestätigten, dass durch das Tutorensystem eine umfassende Betreuung gewährleistet werden konnte, so dass jeder in den Unterricht einbezogen blieb.

5.3.4.2.4 Interpretation

Die Äußerungen der Schüler liefern stimmige Erklärung der differenzierten Haltung der Versuchsgruppe, die sich dazu sehr gut mit den Ergebnissen der Befragung zu Frageteil 1 deckt.

Die Schüler konnten im Verlauf der Unterrichtsreihe eine Reihe von Eigenarten computer-unterstützten Unterrichtes wie seine Offenheit, seine Handlungs- und Produktorientierung erfahren und dies als attraktive Form des Lernens wahrnehmen. Auf der anderen Seite konnten sie erleben, das der konstruktive und handlungsorientierte Umgang mit Computern allen Schülern nicht nur ein hohes Maß an persönlichem Einsatz abverlangt, sondern auch, dass durch die bei den Schülern unterschiedlich vorhandenen Computerkenntnisse von vorne herein unterschiedliche Startpositionen der Schüler entstanden. Das Tutorensystem sorgte vor allem dafür, dass in den Phasen intensiver Computernutzung kein Schüler ohne Computer-kenntnisse vom Unterrichtsverlauf „abgehängt“ wurde. Es brachte aber mit sich, dass sich die Schüler selbst in die Rollen des Belehrenden bzw. des Belehrten einordnen mussten.

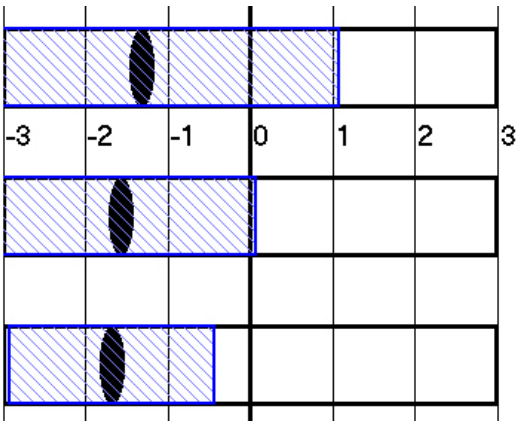
Vergleichbares konnten die Schüler der Vergleichsgruppen nicht wahrnehmen. Dies wird auch noch durch das Medienkonzept der Schule unterstützt; werden hier nämlich Computer eingesetzt, so wird die Rolle der Informationsquelle hier vom Computer (und nicht von einem

Mitschüler) eingenommen – was, im starken Gegensatz zum Einsatz von Computern zur Objektorientierten Modellierung, eher für Angleichung innerhalb der Schülergruppe sorgt.

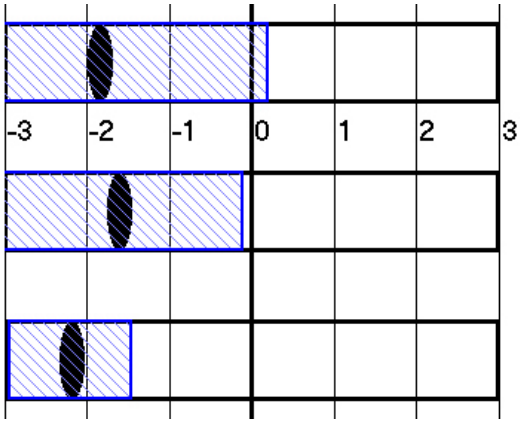
Der Schüler muss nun, wenn er sich im Frageteil 2 für die Auswahl der Medien der zukünftigen Unterrichtsreihe (implizit damit für das zukünftige Vorgehen) entscheidet, seine eigene Rolle in dieser Unterrichtsreihe antizipieren. Die Mädchen der Versuchsgruppe urteilten hier aufgrund der im Zusammenhang mit Frageteil 1 diskutierten Problemlage vorsichtiger.

Und doch äußern sich auch die Mädchen der Versuchsgruppe eindeutig **positiv** zur Nutzung von Computern, obwohl sie nun über das genannte Problembewusstsein und die entsprechend differenzierte Wahrnehmung verfügen! Dies wäre wahrscheinlich ohne das eingeführte Tutorensystem und ohne die sorgfältiger Beobachtung dieser Gruppe nicht geschehen. Eine Beobachtung über einen längeren Zeitraum als den zur Verfügung stehenden könnte klären, ob das Selbstbewusstsein der jungen Mädchen mit häufigerem Erleben ihrer eigenen Handlungsfähigkeit im Umgang mit Computern steigt. Das würde sich in einer günstigeren Antizipation ihrer Rolle in zukünftigen Unterrichtsreihen und damit in einer noch deutlich größeren und weniger breit gestreuten Akzeptanz des Computers als Arbeitsmittel äußern.

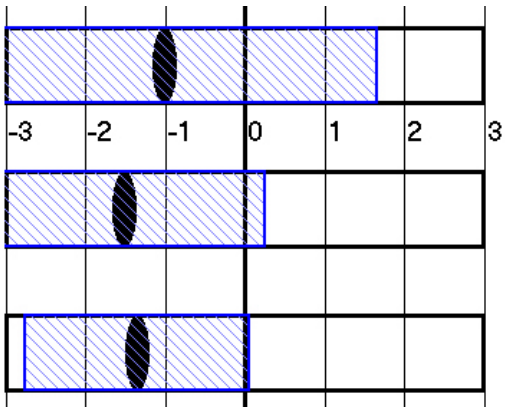
5.3.4.2.5 Ergebnisse Frage 6b

Frage 6b (alle): Akzeptanz Physikbuch	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	-1,31	87,4	2,41	
Feldversuch	-1,56	392,5	1,63	
Vergleichs-gruppen	-1,68	42,1	1,25	

Im Gegensatz zu dem eindeutig positiven Votum für Computer im Unterricht neigen alle befragten Schülerinnen und Schüler dazu, den Einsatz von Physikbüchern abzulehnen. Dabei äußern die Jungen eine etwas stärkere Abneigung gegen Bücher als die Mädchen. Auffällig ist wiederum das punktuelle Auftreten einer starken Streuung der Antworten aus der Laborgruppe (Standardabweichung: S = 2,41 gegenüber S = 1,35 bei den Vergleichsgruppen). Das Auftreten der Streuung ist diesmal nicht geschlechtsspezifisch.

Frage 6b (nur Jungen): Akzeptanz Physikbuch	**Mittelw.**			**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	-1,83	20,8	**2,04**	
Feldversuch	-1,61	180,8	1,52	
Vergleichs-gruppen	-2,18	5,6	0,75	

Betrachtet man die Antworten nach Gruppen und Geschlechtern getrennt, wird das starke Abweichen der Versuchsgruppe gegenüber den Vergleichsgruppen besonders deutlich: wo sich z.B. die Meinung der Jungen der Vergleichsgruppen deutlich ausprägt (starke Abneigung mit M= –2,5 bzw. –2,1; Standardabweichung dabei lediglich S = 0,7-0,8) ist die Aussage der Jungen der Vergleichsgruppe mit M = –1,83 moderater; insbesondere ist das Meinungsbild im Vergleich mit S = 2,04 wirklich außerordentlich stark gestreut.

Frage 6b (nur Mädchen): Akzeptanz Physikbuch				**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	-1	64	2,67	
Feldversuch	-1,51	211,2	1,76	
Vergleichs-gruppen	-1,35	31,9	1,41	

Bei den Mädchen ist die Streuung mit S = 2,67 nochmals deutlich höher (nahezu 45% des Wertebereiches), jedoch ist die Streuung auch in etwas schwächerer Form bei den Mädchen der Vergleichsgruppe vorhanden. Auch im Feldversuch mit 149 Teilnehmern ließ sich die Diversifikation der Meinungen nicht in der gleichen Stärke reproduzieren, obwohl die Tendenz in die gleiche Richtung weist.

5.3.4.2.6 Hypothesenbildung

Eine starke Streuung haben wir bereits im Zusammenhang mit den Frageteilen 1 und 6a als einen Indikator für eine differenzierte Wahrnehmung und Meinung innerhalb der Versuchsgruppe gedeutet, die aus der intensiven und computerunterstützten Auseinandersetzung mit dem Gegenstand nach dem Verfahren der objektorientierten Modellbildung erwachsen ist. Diese differenzierte Wahrnehmung der Rolle von Physikbüchern ist eine wertvolle Information zur Beurteilung des Konzeptes der Objektorientierten Modellbildung und soll deshalb im Gruppengespräch hinterfragt werden.

5.3.4.2.7 Gruppengespräch

Frage 1: Ihr habt in der zurückliegenden Unterrichtsreihe multimedial gelernt, also unter Zugriff auf viele verschiedene Informationsquellen. Wäre es manchmal nicht besser und bequemer gewesen, wenn Ihr nur das Buch als Informationsquelle gehabt hättet, und alles was ihr wissen müsst wäre zwischen den Seiten x und y zu finden gewesen?

Antwort:

1. Es hat uns etwas mehr angereizt, mit Computern UND Experimenten zu arbeiten, weil wir (in Physik) das erste Fach sind, was so arbeitet. Bücher haben wir ja in anderen Fächern auch.

Frage 2: Der andere Kurs hat mehr mit dem Buch gearbeitet und ist genau so wie ihr darüber befragt worden, ob sie in Zukunft gerne mit Buch, gerne mit Experimenten und gerne mit dem Computer arbeiten würden. Während Ihr angegeben habt, dass Ihr mit dem Buch keine Probleme habt, aber lieber mit Computer und Experimenten arbeiten wolltet, haben die anderen Kurse das Buch rundheraus abgelehnt. Sie wollten es ganz einfach nicht mehr benutzen. Habt Ihr dafür eine Erklärung?

Antworten:

2. Im Buch kann man mal etwas nachschlagen.

3. Für einige Sachen braucht man das Buch.

4. Zum Nachschlagen ist das Buch in Ordnung, aber nicht zum „was neues Lernen“! (Aussage wurde stark betont vorgetragen).

5. Das Buch ist eine Hilfe, aber: es ist eine „eingestaubte Hilfe“.

6. Im Buch versteht man vieles nicht sofort (Beispiel aus der Chemie wird genannt). Wenn man das mit einem Experiment verbindet, versteht man es viel besser und dann kann man es hinterher im Buch immer wieder nachlesen.

7. Wir haben mit dem Buch gar nicht so viel gearbeitet. Wir können daher nicht erklären, was die anderen Schüler für Probleme mit diesem Buch haben, denn wir kennen es kaum.

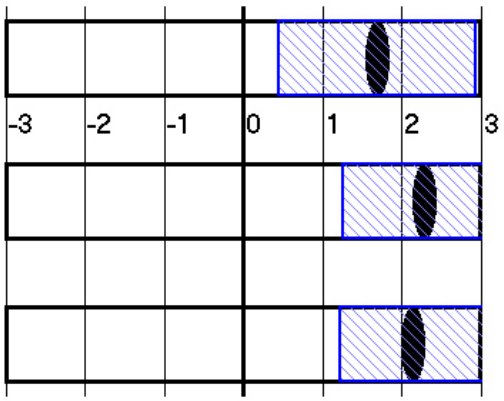
5.3.4.2.8 Interpretation

Aussage 1 beschreibt einen bekannten Effekt: neuartiges Vorgehen erzeugt immer zunächst ein mehr an Aufmerksamkeit, und damit ein besseres Einprägen und einen besseren Lernerfolg - ohne das damit erwiesen ist, dass das beschriebene Vorgehen dadurch tatsächlich besser als das alte ist. Elton Mayo ist bereits 1933 bei systematischen Veränderungen der Arbeitsumgebung im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie aufgefallen, dass sowohl jede eingeführte Veränderung als auch deren Zurücknahme zu einer kurzfristigen Verbesserung der Produktivität führte. Dieser Effekt wird seitdem als „Hawthorne-Effekt“ bezeichnet, da die betroffenen Arbeiter in den Hawthorne-Elektrowerken in Chicago waren[150]. Interessant ist an Antwort 1, dass der Effekt den Schülern der Versuchsgruppe selbst aufgefallen ist.

Die Antworten 2-7 liefern eine stimmige Erklärung für die wenig ausgeprägte Abneigung der Schüler gegen physikalische Lehrbücher (im Vergleich zu den Schülern der Vergleichsgruppen). Das handlungsorientierte Konzept der objektorientierten Modellierung brachte die Schüler dazu, das Lehrbuch als wichtige unterstützende Informationsquelle zu schätzen (und genau so wurde es im Verlauf der Unterrichtsreihe auch positioniert). Der dennoch geäußerte Wunsch, Physikbücher nicht in hohem Maß in der zukünftigen Unterrichtsreihe zu nutzen, resultiert offenbar aus Erfahrungen der Schüler in anderen Unterrichtsreihen, in denen der Lehrer das Schulbuch (die „verstaubte Hilfe“) als zentrales Lehrmedium positioniert hat. Diese in der Lerngruppe vorhandene und stark negativ bewertete Erfahrung (Vgl. den mit Verve vorgetragenen Ausbruch des Schülers in Antwort 6) führt bei allen Schülern zu den Ressentiments gegen Lehrbücher. Diese sind bei der Versuchsgruppe nach Ablauf der Unterrichtsreihe offenbar etwas in den Hintergrund getreten, beeinflussen aber noch mehr oder weniger das Denken der Schüler. Diese **Individuell** prägende Vorerfahrung ist dann wohl auch die Erklärung für die starke (und nicht geschlechtsspezifische) Streuung der Antworten der Versuchsgruppe zu Frageteil 6b.

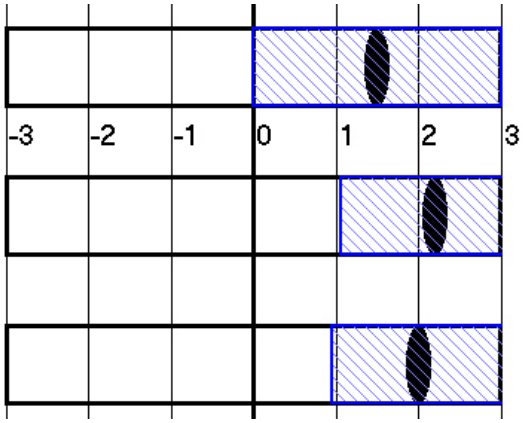
[150] Mietzel, G.: Wege in die Psychologie. Stuttgart: Klett-Cotta, 9. Auflage 1998. Seite 54.

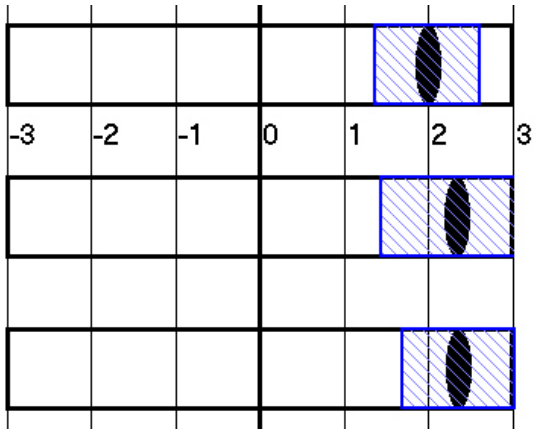
5.3.4.2.9 Ergebnisse Frage 6c

Frage 6c (alle): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich**
Laborgruppe	1,69	23,43	1,25	
Feldversuch	2,28	153,6	1,02	
Vergleichs-gruppen	2,14	23,44	0,93	

Die Akzeptanz von Experimenten im Physikunterricht ist bei allen Gruppen gleichermaßen hoch. Dies ist für Unterrichtspraktiker keine Überraschung. Ziel guter Unterrichtspraxis im Fach Physik war aber stets eine sinnvolle Einbindung von Experimenten in den Unterricht, um ihre Lernhaltigkeit voll zu nutzen.

Die einzige Auffälligkeit ergibt sich aus den Antworten der Laborgruppe. Auch diese Gruppe wünscht sich in Zukunft das Arbeiten mit Experimenten, jedoch ist dieses Votum bei allen anderen Gruppen extremer ausgeprägt. Aus dem Gespräch mit der Laborgruppe gaben sich keine erklärenden Hinweise, so dass nur unklare Vermutungen geäußert werden könnten - wovon wir allerdings hier Abstand nehmen wollen, zumal sich im Feldversuch bei der großen Versuchsgruppe keine Wiederholung dieses Effektes zeigte.

Frage 6c (nur Mädchen): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich MÄDCHEN**
Laborgruppe	1,5	20,5	1,51	
Feldversuch	2,20	89,1	1,15	
Vergleichs-gruppen	2,00	18	1,06	

Frage 6c (nur Jungen): Akzeptanz Experimente				**Grafischer Vergleich JUNGEN**
Laborgruppe	2	2	0,63	
Feldversuch	2,34	63,7	0,90	
Vergleichs-gruppen	2,36	4,54	0,67	

Positiv festhalten lässt sich aufgrund dieser Ergebnisse, dass der Zugang zur Physik mit Hilfe der objektorientierten Modellbildung nicht zu einem Zurückdrängen des Interesse am klassischen Experiment führt.

5.3.4.3 Frage 2: Begriffsassoziation und Problemhandeln

Im Fragenteil 2 wurden den Schülern einige Begriffe genannt, die in der Unterrichtsreihe zur Einführung in die Mechanik thematisiert wurden. Der Assoziationstest ermöglicht den Schülern, auf eine offene Fragestellung hin ihre Assoziationen mit den Begriffen zu beschreiben. Von Interesse ist hierbei, wie hoch der Anteil der Schüler ist, die in der

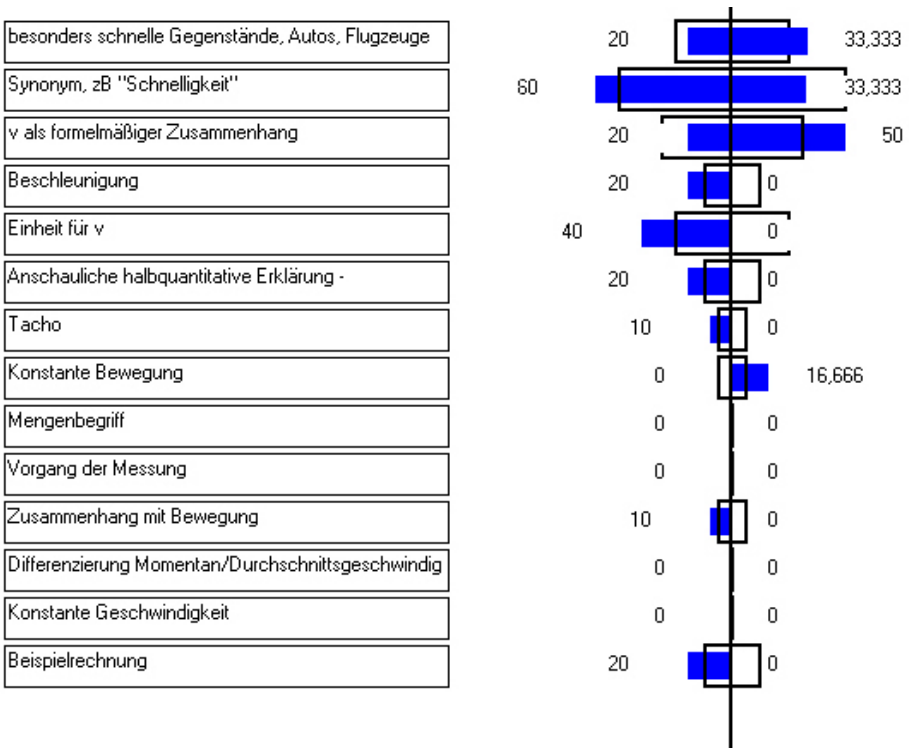
Lebenswelt definierte, umgangssprachlichen Begriffe (Geschwindigkeit, Beschleunigung) nun auch mit ihrer physikalischen Definition verbinden und sie fachsprachlich korrekt beschreiben können.

Frage 2:

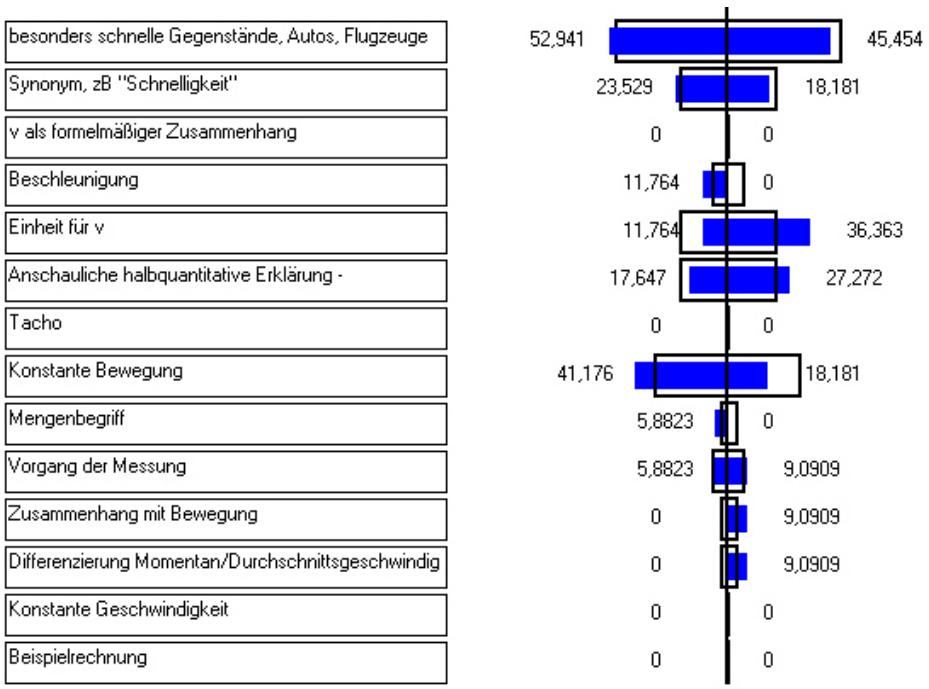
Was verbindest Du mit dem Begriff „Geschwindigkeit“? Beschreibe!

5.3.4.3.1 Auswertung Frage 2a: Assoziationen mit dem Begriff „Geschwindigkeit“

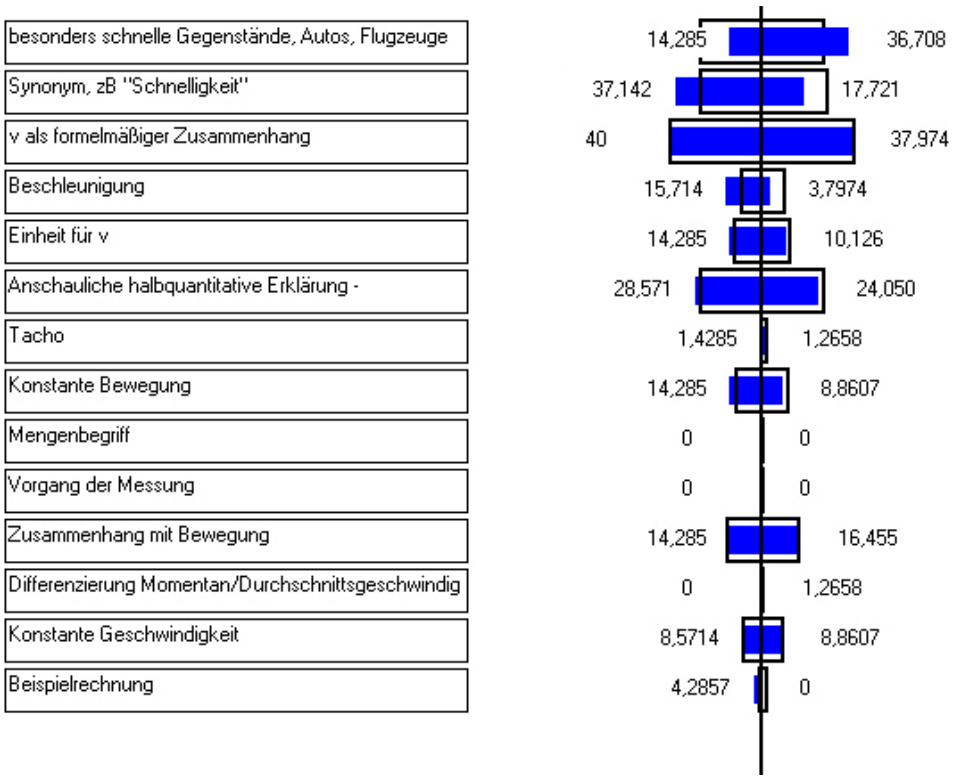
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Bei der Vergleichsgruppe dominiert statt einer Antwort mit Formeln die Assoziation mit schnellen Gegenständen wie Autos und Flugzeugen die Antworten sowohl von Mädchen als auch von Jungen; hier ist keine Asymmetrie zwischen den Geschlechtern erkennbar. Diese

naive Assoziation ist aber ein Zeichen dafür, dass das fachliche Wissen des Physikunterrichtes noch nicht sehr tief in die Wahrnehmung der betreffenden Schüler eingedrungen ist. Diese und eine Reihe anderer naiver Antworten kennzeichnet die Größe der Gruppe von Schülern innerhalb der Versuchs- und Vergleichsgruppen, bei denen die Wahrnehmungen vor allem noch vom Alltagsverständnis und den Gegenständen des Alltages geprägt ist.

Auch unter den Schülern, die an der Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung im Physikunterricht teilgenommen haben, finden sich naive Antworten. Diese äußern sich weniger häufig durch die Assoziation mit schnellen Gegenständen; dafür ziehen sich hier signifikant häufig Schüler regelrecht aus der Affäre, indem sie auf den Begriff „Geschwindigkeit“ einfach mit einem synonymen Begriff wie dem Wort „Schnelligkeit“ antworten. Auch dies zählt als naive Antwort mit den oben genannten Schlussfolgerungen.

Erfreulich viele Teilnehmer sowohl des Feldversuches (26%) als auch des konventionellen Unterrichtes in der Vergleichsgruppe (21%) bemühen sich, durch eine anschauliche Erklärung das hinter dem Geschwindigkeitsbegriff verborgene Konzept darzulegen. Dieser Versuch wird als „anschauliche halbquantitative Erklärung“ bezeichnet, wenn er zwar ein „je-desto-Verhältnis“ beschreibt, aber dabei keine Formel bemüht. Die quantitativen und die halbquantitativen Antworten bilden zusammen die Gruppe der wünschenswerten Antworten auf die Frage 2a.

Insbesondere die Schüler der Vergleichsgruppe antworteten auf die Frage nach dem Begriff Geschwindigkeit mit der offenbar auswendig gelernten Definition der konstanten Geschwindigkeit. In der Vergleichsgruppe sind es immerhin 42% der Mädchen, allerdings nur 18% der Jungen. Dies könnte auf eine Taktik der Mädchen im konventionellen Unterricht Hinweisen, sich durch das Auswendiglernen von Begriffen durch den Unterricht und über die Klausur zu retten. Bei den Teilnehmern des Unterrichtsversuchs trat dieses Verhalten kaum auf; bei den vorgekommenen Antworten dieser Art (6% in der Laborgruppe, 11% im Feldversuch) ist keine nennenswerte Asymmetrie zwischen Jungen und Mädchen erkennbar. Möglicherweise bietet die Struktur der Unterrichtsreihe, die stärker auf die Ausprägung von Vorstellungsmodellen als auf das Bilden von Begriffen orientiert ist, auch weniger Ansatzpunkte für diese Taktik.

Bei allen Gruppen ungefähr gleich häufig kam die Nennung von Einheiten der Geschwindigkeit (km/h bzw. m/s) vor. Im Feldversuch wurde hier kein geschlechtsspezifischer Unterschied deutlich, wobei Labor- und Vergleichsgruppen noch deutlich Asymmetrie - mit unterschiedlichem Vorzeichen - zeigten.

Die übrigen Klassen von möglichen Antworten sind marginal besetzt. Die Angaben von Beispielrechnungen, die im Rahmen des Laborversuches noch als erfreuliche Ergebnisse notiert werden konnten, haben sich im Feldversuch leider nicht wiederholt. Zum Glück auch nicht wiederholt hat sich die Antwort einer Schülerin der Vergleichsgruppe, die einen „Mengenbegriff“ zur Geschwindigkeit äußerte: „Es gibt eine Menge davon auf der Autobahn“.

Im direkten Vergleich wird eine unterschiedliche Ausprägung zwischen Laborgruppe und Vergleichsgruppe deutlich. Besonders markant – und erfreulich – ist, dass insgesamt 31% der Schüler der Laborgruppe zur Beantwortung der Frage „was verbindest Du mit ‚Geschwindigkeit'" den formelmäßigen Zusammenhang nennt. Dieses Verhalten ist bei den Jungen der Laborgruppe besonders deutlich ausgeprägt (50%), bei den Mädchen sind es lediglich 20%. Im Vergleich dazu hat kein einziges Mitglied der beiden Vergleichskurse einen Versuch unternommen, den Begriff „Geschwindigkeit" mit Hilfe einer Formel zu erläutern. Der Feldversuch mit 149 Beteiligten bestätigt die Beobachtung in der Laborgruppe; hier enthalten 38% der Antworten aller Schüler die Formel. Die Asymmetrie zwischen den Geschlechtern wird im Feldversuch nicht bestätigt.

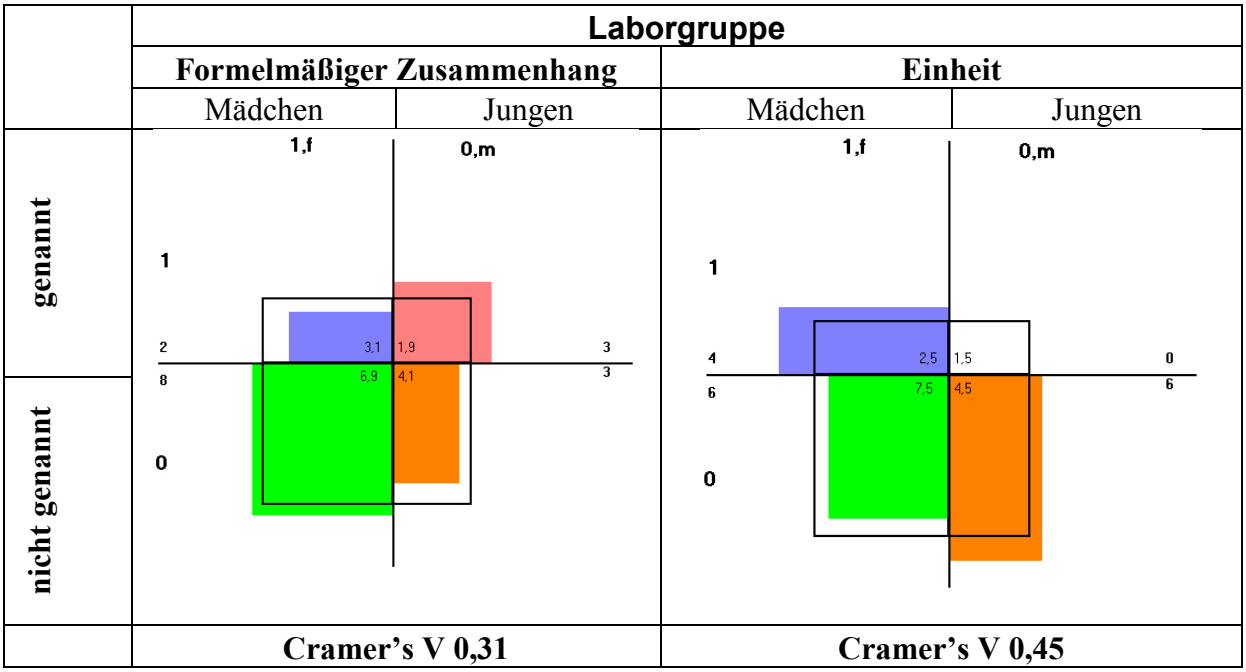
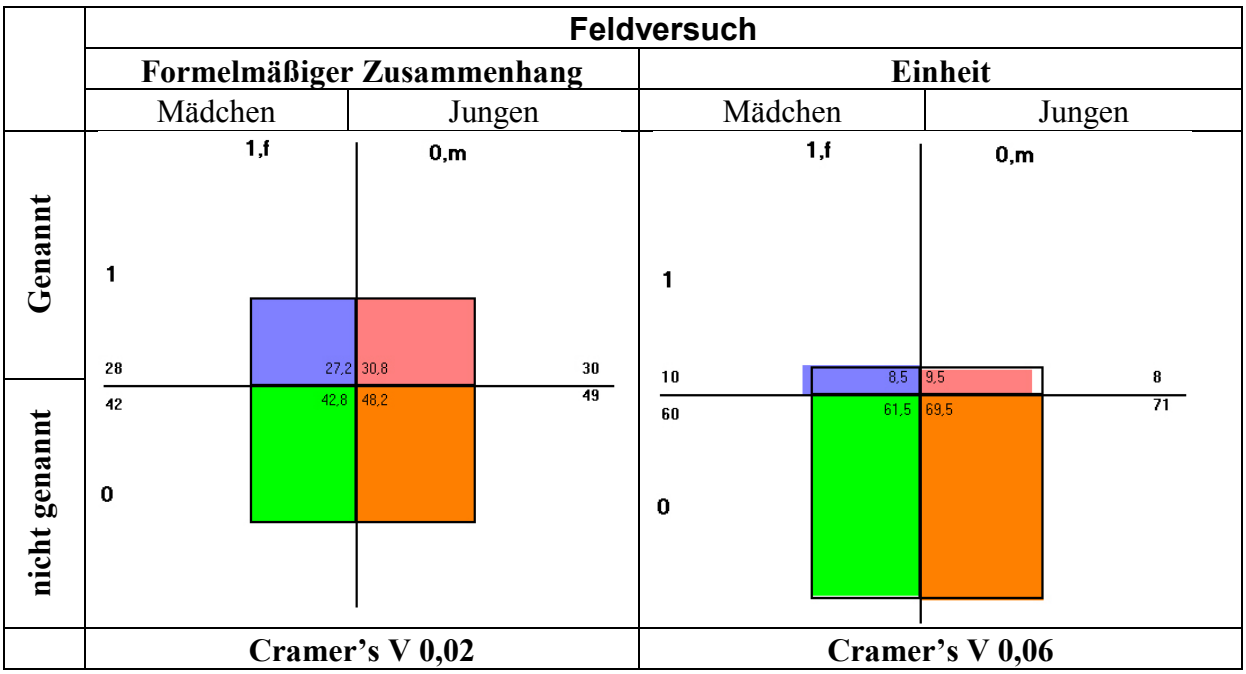


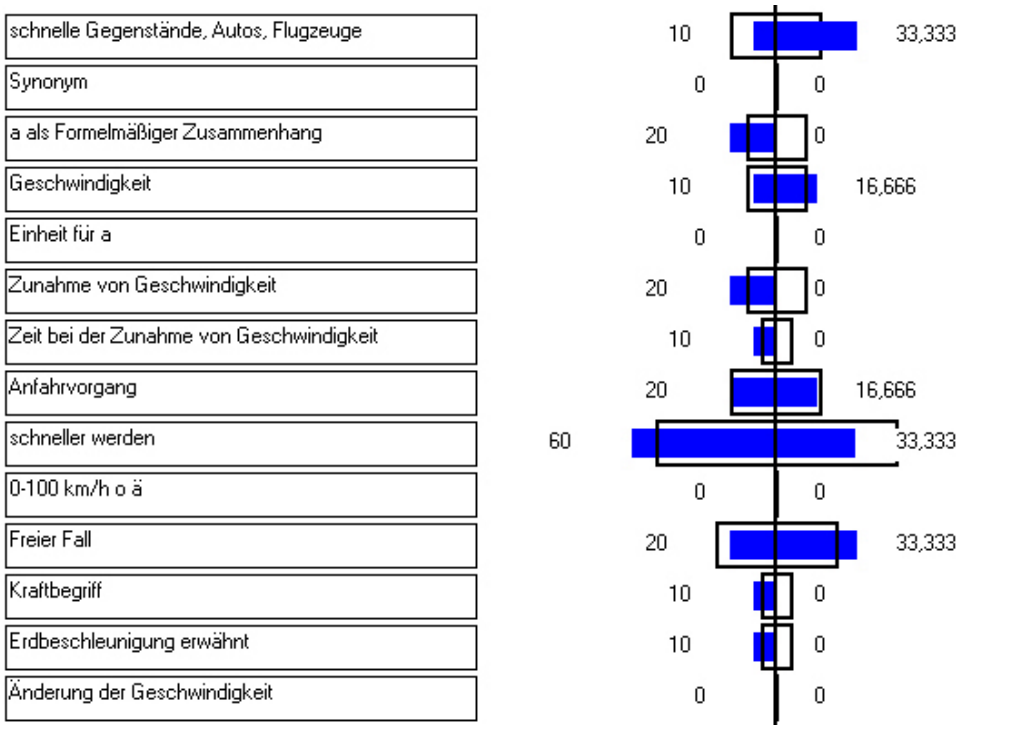
Abbildung 72: Vergleich der Bevorzugten Assoziationen in der Laborgruppe und im Feldversuch



5.3.4.3.2 Auswertung Frage 2b: Assoziation mit dem Begriff „Beschleunigung“

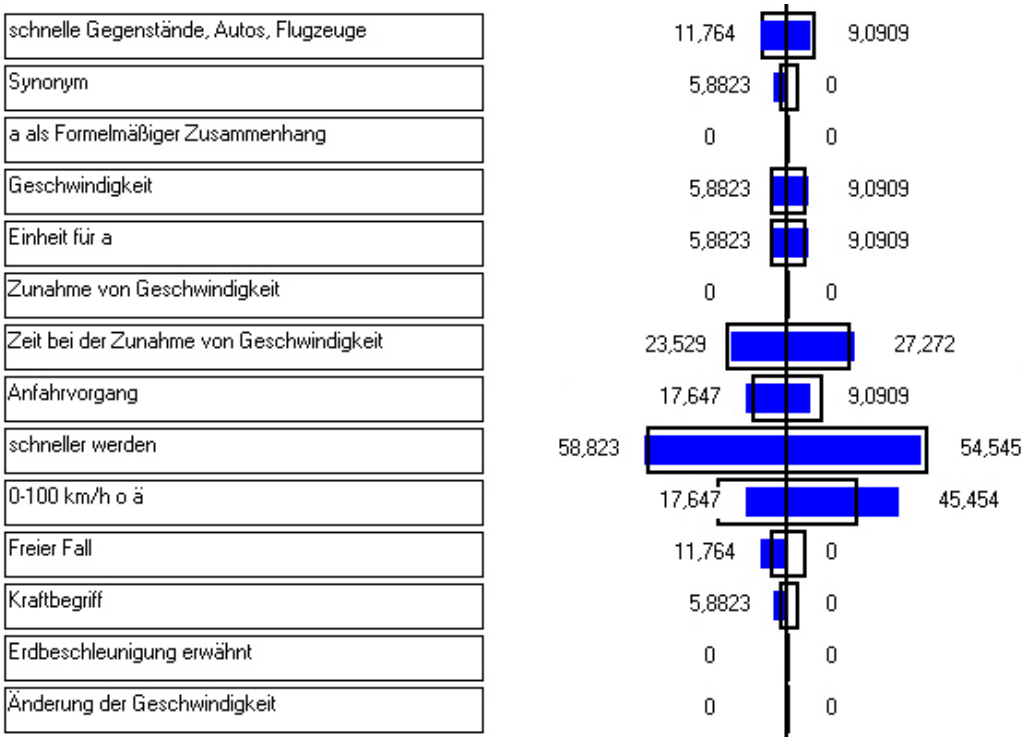
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert

Mädchen **Jungen**

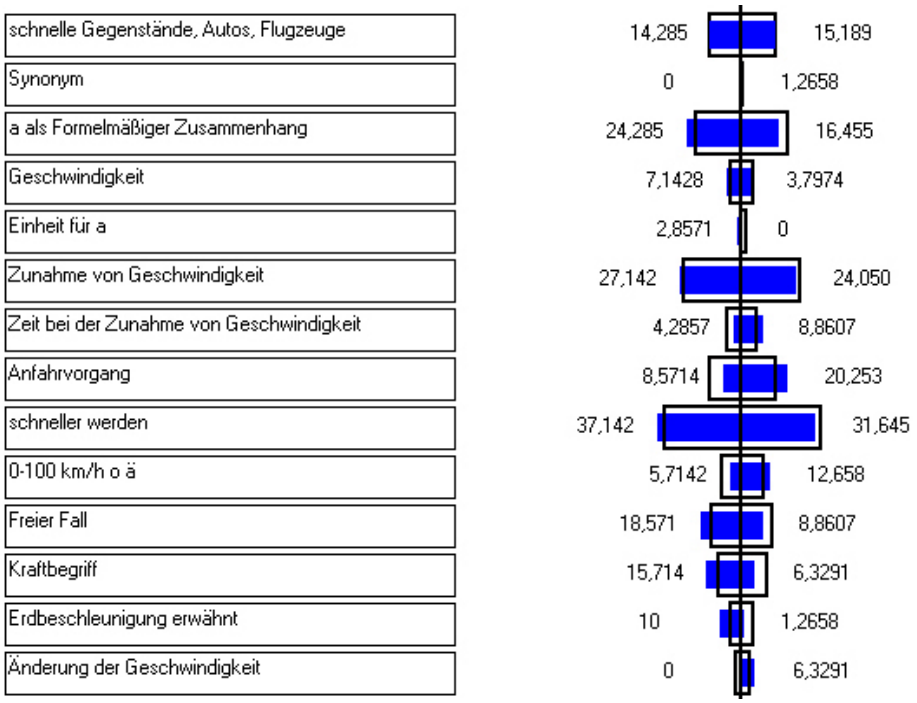


Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert

Mädchen **Jungen**



Häufung Feldversuch auf 100 normiert **Mädchen** **Jungen**



Das Spektrum der Antworten auf die Frage 2b: „Was verbindest Du mit dem Begriff ‚Beschleunigung'?" sind wenig signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen erkennbar. Dass innerhalb der Laborgruppe, vor allem durch 33 % der Jungen, eine naiv-lebensweltliche Verbindung mit schnellen Fahrzeugen gezogen wurde enttäuschte zunächst. Im Feldversuch trat diese Antwort allerdings nicht häufiger auf als in der Vergleichsgruppe.

Bei allen 3 Gruppen war die Beschreibung „Beschleunigung ist wenn ein Gegenstand schneller wird" in irgendeiner Form dominierend (jeweils über die Hälfte der Beteiligten antworteten auf diese Weise). Ebenfalls bei allen Gruppen von 20-25 % der Schüler genannt wurde die Beschreibung, dass Beschleunigung die Zunahme von Geschwindigkeit sei. In der Vergleichsgruppe gaben 25 % dieser Schüler eine Antwort, die auf das Vorhandensein einer quantitativen Vorstellung der Art „Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung pro Zeit" schließen lassen; explizit in Form einer Formel beschrieben hat dies jedoch kein einziges Mitglied der Vergleichsgruppe. Dies geschah aber signifikant häufiger durch die Schülerinnen der Laborgruppe (20 % der Schülerinnen) und durch 20 % der Schülerinnen und Schüler des Feldversuches. Hier sind es vor allem die Mädchen (24 %), die sich durch Angabe des formelmäßigen Zusammenhanges vor den Jungen (16 %) hervortun.

Es ist auch hier nicht zu erkennen, dass die Mädchen durch die stark am Computer ausgerichtete Struktur der Unterrichtsreihe eine Benachteiligung erfahren haben.

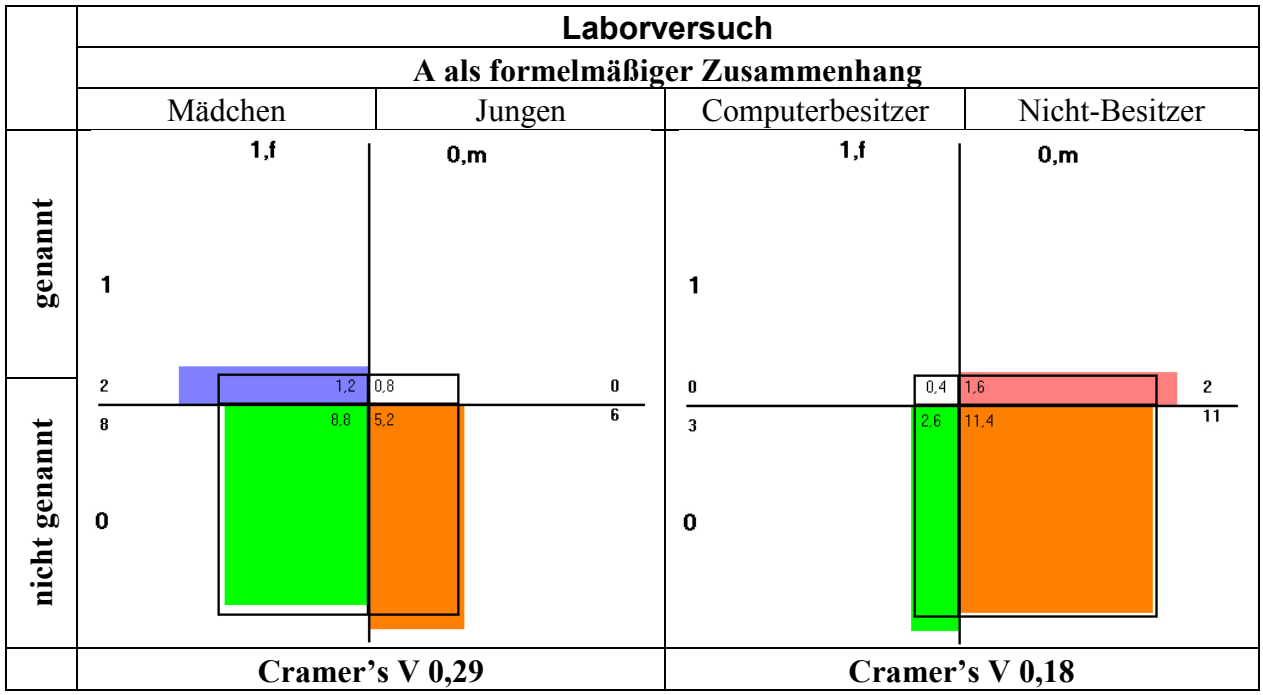


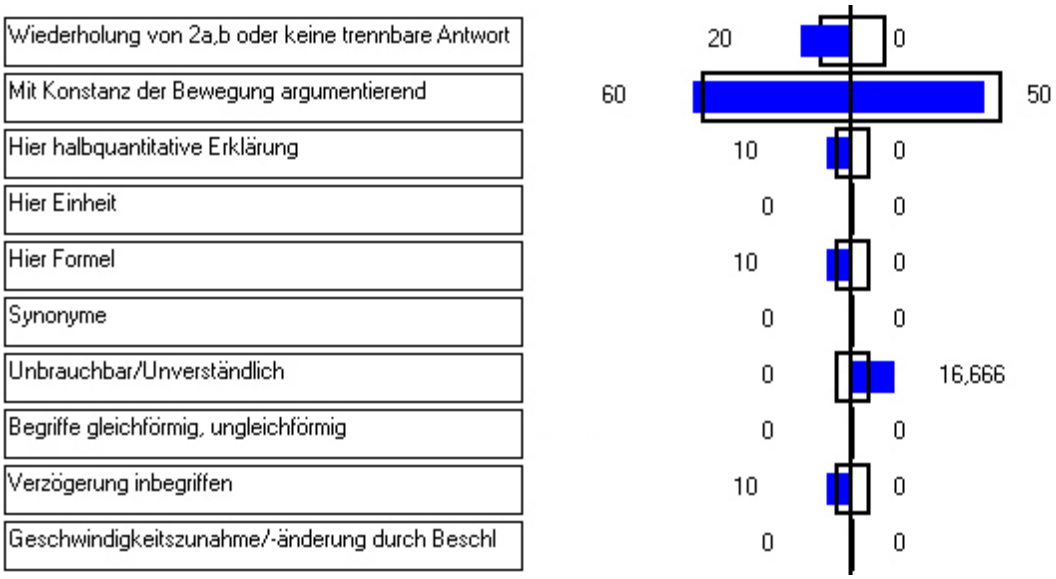
Abbildung 73: Im Laborversuch waren es vor allem die Mädchen, die durch Angabe formelmäßiger Zusammenhänge positiv auffielen (linkes Diagramm). Computerbesitzer waren hier nicht im Vorteil (rechtes Diagramm).

Mit einem Cramer's V Test wurde untersucht, ob sich die Gruppe der Computerbesitzer durch eine erhöhte Häufigkeit der Nennung des formelmäßigen Zusammenhangs ausweist – oder mit anderen Worten, ob das Fehlen der Zugriffsmöglichkeit auf einen eigenen PC sich an dieser Stelle als nachteilig erweist. Dies bestätigte sich nicht; während in der Feldversuchsgruppe der Zusammenhang mit Cramer's V = 0,1 völlig marginal ausgeprägt war, weist der Zusammenhang in der Laborgruppe sogar in die entgegengesetzte Richtung. Allerdings macht ein Blick in die Grafik die Korrelation von Cramer's V = 0,18 sofort als „Rundungsgewinn" deutlich: aus den Randverteilungen errechnet sich eine erwartete Häufung von 0,4 Computerbesitzern, die einen Formelzusammenhang für a nennen sollten. Dies ist natürlich nicht möglich, da die Häufung nur reale Werte annehmen kann.

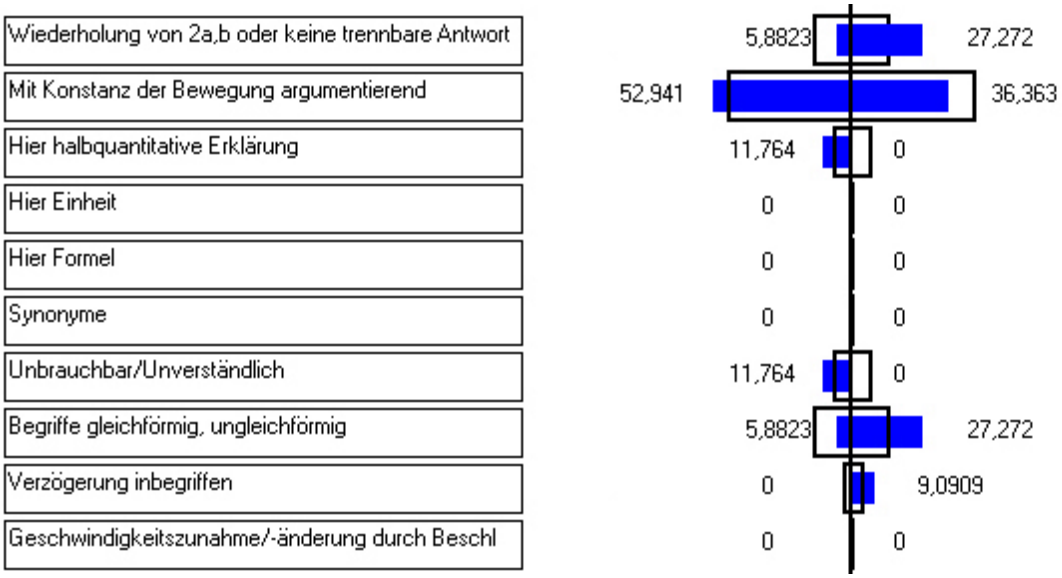
Bedingt durch den Fallversuch aus dem Gebäudefenster als zentrale Methode zur Untersuchung der beschleunigten Bewegung assoziieren 25 % der Laborgruppe und noch 14% der Feldversuchsgruppe Beschleunigung mit dem „freien Fall". Dies trat bei der Vergleichsgruppe nur marginal auf. Statt dessen antworteten 45 % der Jungen und noch 18 % der Mädchen in der Vergleichsgruppe in der Form „Beschleunigung ist 0 auf 100 in X Sekunden". Die Wahl der Einheiten deutet darauf hin, dass dies eine lebensweltliche Assoziation ist, die schon vor dem Physikunterricht manifestiert war.

5.3.4.3.3 Auswertung Frage 2c: Vergleich der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung

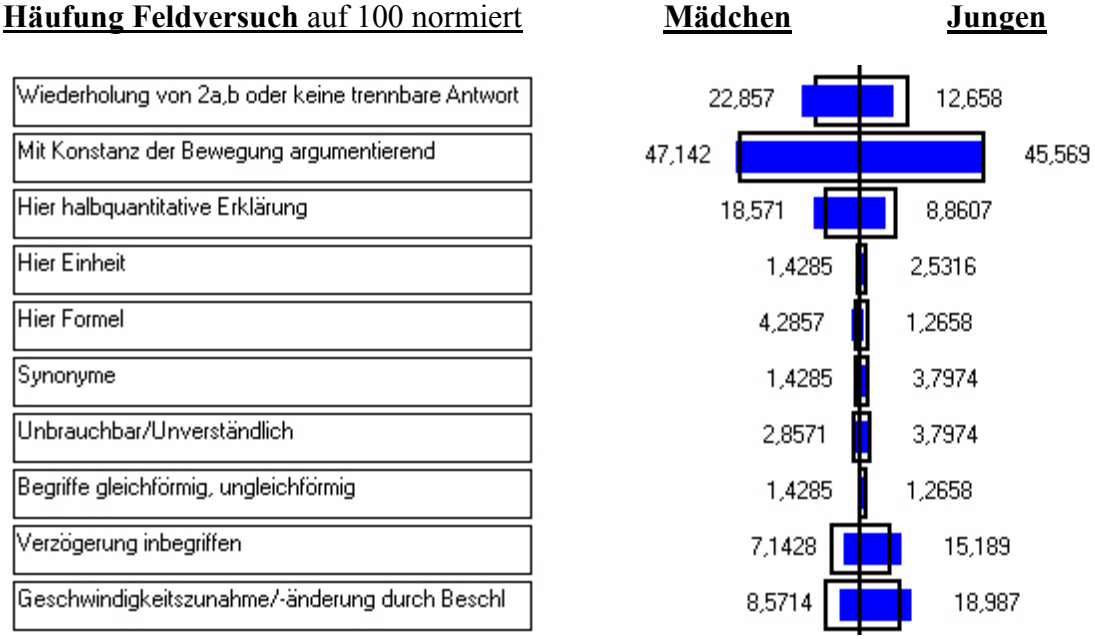
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Die Bitte 2c: „Beschreibe den Unterschied zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung“ ist eigentlich als eine Antwortalternative zu den vorhergehenden Fragen 2a und 2b zu verstehen. Sie soll denjenigen Schülerinnen und Schülern, die mit den offenen Assoziationsfragen zur Geschwindigkeit und Beschleunigung nichts anfangen konnten, die Möglichkeit geben, durch den Vergleich der beiden Begriffe eine präzisierte Antwort zu geben.



Die präzisere Fragestellung bringt ein verringertes Spektrum möglicher Antworten mit sich. Die Diagramme der verschiedenen Gruppen sehen sich entsprechend ähnlich. Das ist zunächst ein Argument dafür, freie Assoziationsfragen mit offenen Fragestellungen wie in den Fragen 2a und 2b zu verwenden, wenn man nach Indizien für die Modelle sucht, die von den Schülern nach Abschluss der Unterrichtsreihe intern verwendet und präferiert werden. Stellt man präzisere Fragen mit quantitativem Hintergrund, fokussiert man damit die Antworten der Schüler stärker auf den Kontext des Physikunterrichtes, da dort (und für viele Schüler nur dort) eine qualitative und quantitative Diskussion der Begriffe stattfindet. Sinn einer Wirksamkeitsstudie im Bereich allgemeinbildender Schulen kann es aber nicht allein sein, eine auf den Kontext des Physikunterrichtes beschränkte Wirkung des Unterrichtes zu erheben[151]; es muss hinterfragt werden, in welcher Weise sich die alltäglichen physikalischen Modellvorstellungen und ihre Anwendungen im Alltag nach einer Unterrichtsreihe im Physikunterricht geändert haben.

Die soeben skizzierten Theorie der Kontextänderung durch Fragestellung erklärt, warum nun in allen Gruppen der überwältigende Teil der Antworten sich auf eine verbale physikalische Definition stützt, nämlich der Definition der konstanten Bewegung. 56 % der Antworten aus der Laborgruppe, 46% der Antworten aus der Vergleichsgruppe und ebenfalls 46 % der Antworten aus den Klassen des Feldversuches stützten sich in irgendeiner Form auf diese Definition und argumentierten, dass bei Geschwindigkeit diese Definition

- erfüllt ist,
- prinzipiell erfüllt sein könnte oder
- zur korrekten Messung erfüllt sein müsste,

[151] Non vita sed scholae discimus. Seneca: Epistula morales 106,12. Rom, ca. 65 n. Chr.

während die Definition auf eine beschleunigte Bewegung auf gar keinen Fall zutreffen könnte. Da Geschwindigkeit aber eine Messgröße ist, die auch auf eine beschleunigte Bewegung festgestellt werden kann, führt die Trennung der Begriffe mit Hilfe der Definition der konstanten Bewegung von vorne herein in eine geistige Sackgasse! Diese Antwort ist auf keinen Fall befriedigend und deutet eher darauf hin, dass hier Begriffe und Definitionen nicht sinnvoll genutzt werden, sondern von den Schülern je nach dem Kontext aufgerufen werden, innerhalb dessen sie ursprünglich vermittelt wurden. Diese Reaktion ist nicht spezifisch für eine Gruppe wie der Vergleich zwischen den Ergebnisse des Feldversuches und der Vergleichsgruppe zeigt.

Die übrigen und eher wünschenswerten Antworten sind im wesentlichen Verlagerungen der Antworten, die für die Fragen 2a und 2b erwartet wurden. 10 %-11 % der Schülerinnen der Laborgruppe und der Vergleichsgruppe versuchten spätestens an dieser Stelle eine halbquantitative Beschreibung der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung; im Feldversuch waren es sogar 18 %. Ebenfalls 10 % der Schülerinnen der Laborgruppe nannten erst an dieser Stelle die Formeln, die Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Objektes beschreiben, und verglichen diese[152]. Immerhin 15 % der Antworten im Feldversuch erklärten richtig, dass sich durch die Beschleunigung die Geschwindigkeit eines Objektes ändern würde.

5.3.4.3.4 Zusammenfassung des Fragenteils 2

Zusammenfassend wird auch bei dieser Fragestellung nicht deutlich, dass die Schüler, die an der Unterrichtsreihe zur Objektorientierten Modellbildung teilgenommen haben, durch den erhöhten Anteil von Arbeit am Computer ein Defizit im physikalischen Verständnis davon getragen hätten. Statt dessen sind die Antworten der Mädchen hier sogar tendenziell von höherer Qualität - betrachtet man z. B. den höheren Anteil an quantitativen Formulierungen als Antwort auf Frage 2b und die Nennung der Einheiten für v in Frage 2a.

Viele Schüler haben die Möglichkeit genutzt, den Begriff zunächst naiv - umgangssprachlich zu beschreiben, und dann mit den im Physikunterricht gelernten Begriffen näher auszuführen - insgesamt ein lobenswertes Vorgehen. Ein rein naives Beschreiben wäre ein Zeichen dafür, dass die Schüler auch nach Ablauf des Kurses zur Mechanik nicht gewillt oder in der Lage sind, den Begriff „Geschwindigkeit“ mit physikalischem Fachwissen zu verbinden.

Auf der anderen Seite ist auch eine rein fachsprachliche Besetzung des Begriffes bei den Schülern nicht problemfrei. „Der Physikunterricht in der Sekundarstufe I vermittelt wichtige grundlegende Kenntnisse und Qualifikationen, indem er Einsichten in Naturvorgänge eröffnet und für ein besseres Verständnis unserer natürlichen und technischen Umwelt sorgt.“[153], so fassen die Richtlinien für das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe die Aufgabe des Physikunterrichtes in der Sekundarstufe I kompakt zusammen. Das heißt, im Physikunterricht

---

[152] Nur die Schüler die erstmals bei 2c quantitative oder halbquantitative Antworten gaben. Die Wiederholung von bereits zu 2a oder 2b gelieferten Formeln führte zu einem Eintrag bei „Wiederholung gegebener Antworten“

[153] Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Physik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

der Sekundarstufe I erworbene Kenntnisse dürfen nicht unverbunden im Kopf des Schülers verankert sein - der Schüler soll auch den Zusammenhang mit lebensweltlicher Wahrnehmung verstanden haben und wiedergeben können.

Wie differenziert sich die Versuchsgruppe nun vor dem Hintergrund der Vergleichsgruppen aus? Besonders positiv fällt auf, dass lediglich aus dieser Gruppe Schüler direkt quantitative Zusammenhänge, Formeln, korrekt mit dem Begriff der Geschwindigkeit verbunden haben. Dies erstaunt um so mehr, als das dass (Auswendig)lernen von Formeln beileibe nicht Gegenstand der Unterrichtsreihe gewesen ist.

5.3.4.3.5 Gruppengespräch

Im Gruppengespräch mit den Schülern der Laborgruppe sollten Ursachen für das beobachtete Antwortverhalten der Schüler gesucht werden. Im Zusammenhang mit Fragenteil 2 interessierte vor allem, warum so viele Schüler die Angabe des quantitativen Zusammenhangs s=vt als Assoziation mit dem Begriff der Geschwindigkeit verbunden haben, obwohl der Umgang mit dieser Formel nicht durch das in anderen Unterrichtsreihen übliche Fachrechnen geübt worden ist.

Die Schüler antworteten, die Formel sei ja „ganz am Anfang“ der Unterrichtsreihe benutzt worden. Auf die Entgegnung des Gesprächsleiters, bei anderen Kursen sei die Formel durchgängig benutzt worden, aber es hätte trotzdem nicht ein einziger Schüler der anderen Gruppen die Formel als Antwort auf Frage 2a genannt, konnten die Schüler lediglich ihre Verwunderung darüber zum Ausdruck bringen.

5.3.4.3.6 Interpretation

Die Schüler der Versuchsgruppe verbinden den Begriff der Geschwindigkeit in zufriedenstellendem Masse mit elaboriertem Wissen aus der Unterrichtsreihe. Sie haben den Begriff der Geschwindigkeit in ausreichendem Maße in Zusammenhang mit quantitativen und zielorientierten Problemstellungen kennen gelernt, und können auch noch gute Bezüge zur Lebenswelt darstellen (vgl. die geringe Anzahl an rein fachlich und nicht lebensweltlich orientierten Assoziationen).

Auf der anderen Seite ist in der Unterrichtsreihe weniger Wert auf fachsprachlich formulierte Merksätze gelegt worden, die den Schülern anderer Unterrichtsreihe eine wesentliche Hilfe zum Memorieren grundlegender Sachverhalte sind. Dies könnte in Zukunft sicherlich noch verstärkter erfolgen.

5.3.4.4 Frage 3: Problemlösungsdenken in Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsbegriff

Im Frageteil 3 wurde den Schülern zur Aufgabe gestellt, ihre Vorgehensweise bei der Lösung eines mit der bisherigen Unterrichtsreihe verbundenen Problems - dem Aufnehmen und Verarbeiten von Geschwindigkeitswerten eines Fahrradfahrers - zu beschreiben. Die Schüler wurden dazu geführt, in einem dreistufigen Verfahren vorzugehen:

1. Brainstorming: Vorschläge zur Messung der Geschwindigkeit sammeln
2. Lösungsentwicklung: aus den genannten Vorschlägen einen geeigneten Auswählen und das genaue Vorgehen zur Geschwindigkeitsmessung entwickeln und beschreiben,
3. Einen <u>quantitativen</u> Ansatz zur Vorausberechnung der gefahrenen Strecke schildern.

Frage 3:

3a. Ein Fahrradfahrer fährt über den Schulhof. Nenne alle Methoden, die Dir einfallen, seine Geschwindigkeit zu bestimmen:

1. _____ 2. _____

3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____

7. _____ 8. _____

3b. Greife Dir Deine Lieblings-Methode von den oben genannten heraus, und beschreibe sie näher.

3c. Nachdem Du die Geschwindigkeit des Radfahrers bestimmt hast, könntest Du vorhersagen, wo der Radfahrer nach einer bestimmten Zeit angekommen ist. Wie würdest Du das machen?

5.3.4.4.1 Ergebnisse

Bei der Auswertung der Ergebnisse zur Frage 3a wurde die absolute Anzahl der gemachten Vorschläge ebenso ermittelt wie die Anzahl der Vorschläge pro Kopf. Diese wurden nach Geschlechtern getrennt erfasst, um hier geschlechtsspezifischen Unterschieden auf die Spur zu kommen.

Weiterhin war vom Interesse, wie viele voneinander unabhängige Vorschläge gemacht wurden. In manchen Fällen versuchten Schüler, den gleichen Messvorgang in verschiedenen Abwandlungen zu beschreiben. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Schüler sich selbst mangelnder Ideen bewusst sind und dies vertuschen wollen.

5.3.4.4.2 Auswertung Frage 3a: Bestimmung der Geschwindigkeit eines Radfahrers (Lösungsansätze)

Frage 3a: **Sammeln von Vorschlägen**	**Gesamt**	**Nur Mädchen**			**Nur Jungen**		
	Anzahl Vorschl.	Pro Kopf	Davon qualifiziert	Davon unabhängige	Pro Kopf	Davon qualifiziert	Davon Eigenständige
Laborgruppe 16 Befragte	**60**	**3,7**	67%	96%	**3,83**	91%	86%
Feldversuch 149 Befragte	**498**	**3,54**	82%	99%	**3,16**	86%	96%
Vergleichsgruppe 28 Befragte	**49**	**1,47**	92%	78%	**2,18**	96%	96%

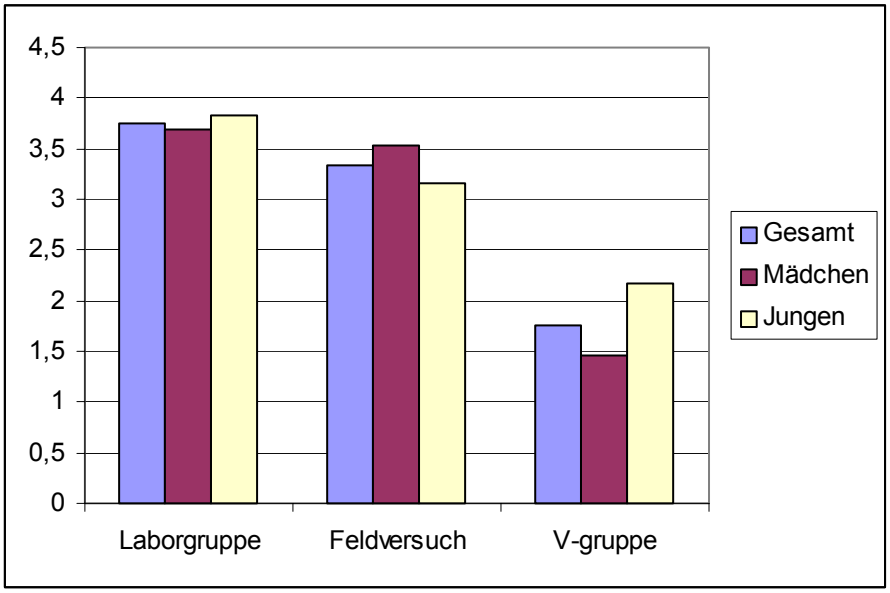
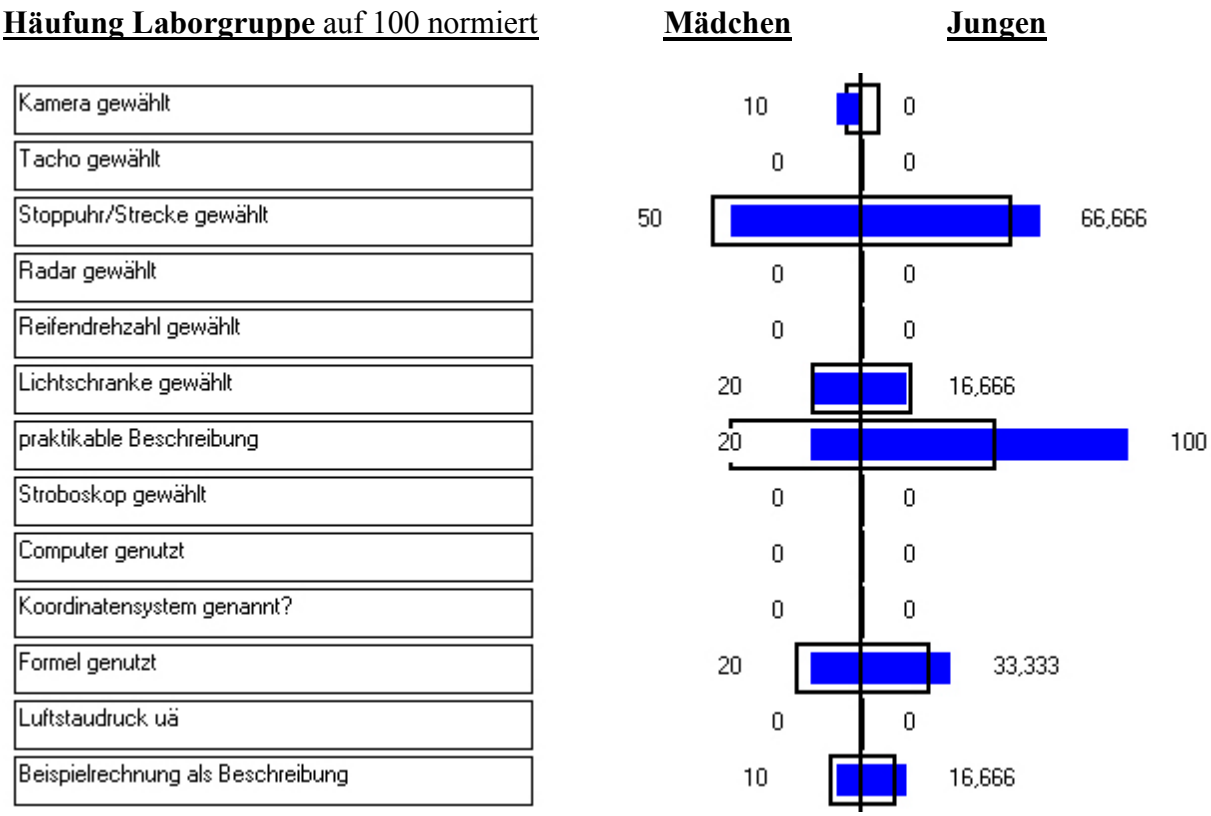


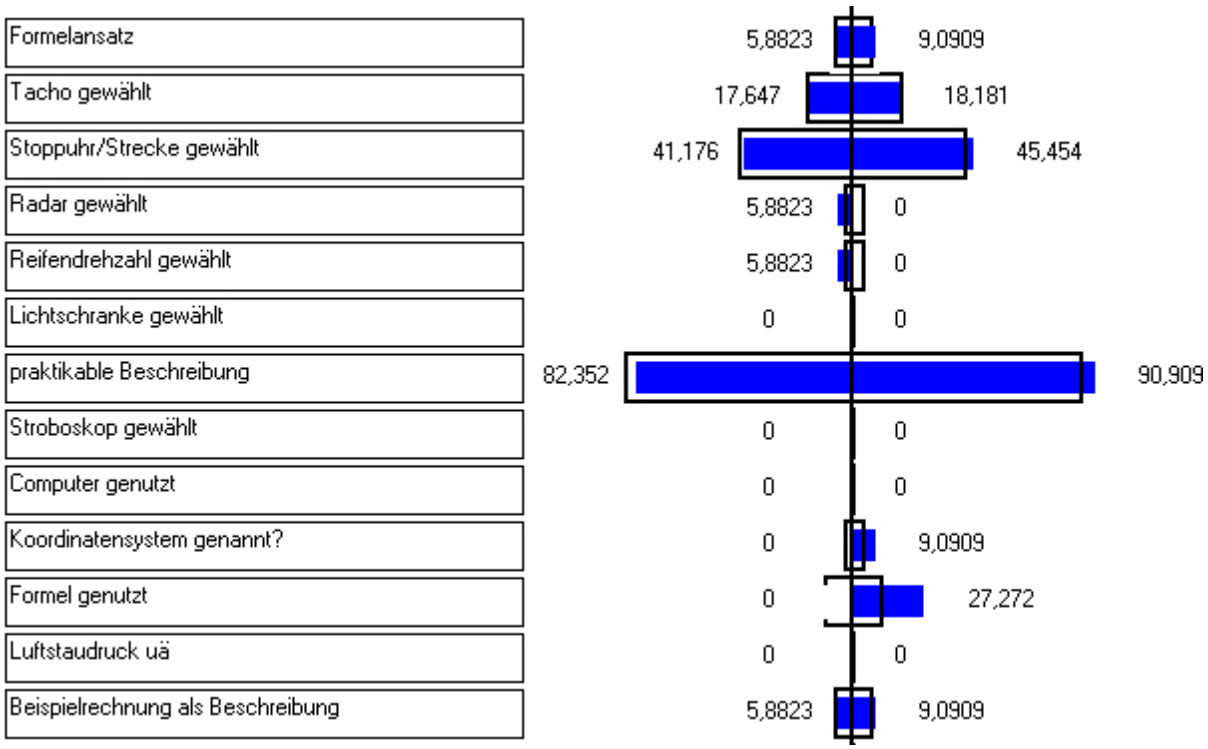
Abbildung 74: Anzahl genannter Lösungen zum Messen von Geschwindigkeit

Das hervorragende Verhalten beim Lösen des gestellten Problems ist die hervorstechendste Eigenschaft der Versuchsgruppen, sowohl im Laborversuch als auch unter den 149 Schülern des Feldversuches. Jeder der Schülerinnen und Schüler konnte 3-4 verschiedene praktikable Vorschläge einbringen. Befriedigend ist auch, dass der Anteil der qualifizierten Vorschläge sehr hoch ist - das heißt, es wurden kaum unpraktikable Vorschläge gemacht. Auch der Anteil der unabhängigen Vorschläge ist hoch: es wurden also nicht mehrere äquivalente Varianten eines Messverfahrens genannt, um die Anzahl der Einträge in die Vorschlagsliste künstlich zu erhöhen.

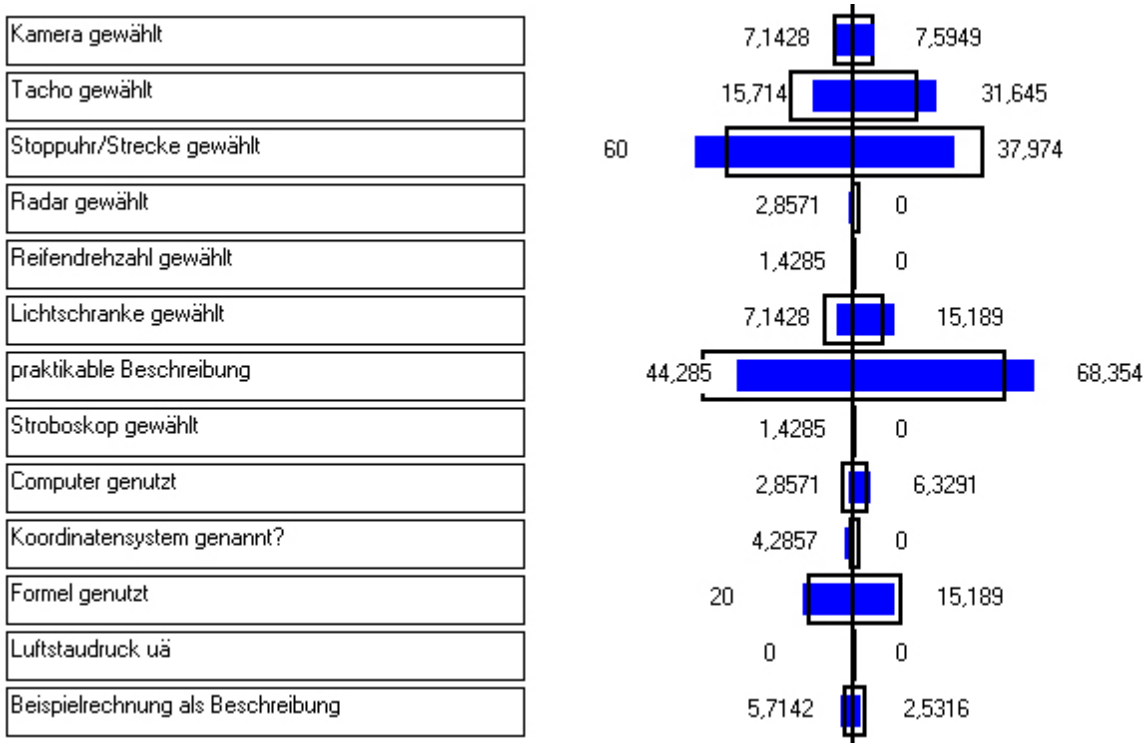
5.3.4.4.3 Auswertung Frage 3b: Tatsächlich gewählte Lösung zur Messung einer Geschwindigkeit



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Bei der Auswahl und Beschreibung eines geeigneten Vorschlages wurde im Rahmen der Auswertung vor allem darauf geachtet, welcher Vorschlag tatsächlich näher ausgearbeitet und beschrieben wurde. Zahlreiche Vorschläge betreffen den Einsatz komplexer technischer Systeme, deren exakte Funktionsweise nicht annähernd zum Gegenstand des Physikunterrichts gemacht werden konnte - beispielsweise die Radarfalle der Polizei, aber auch das Tachometer des Autos. Diese Geräte haben zwar eine große Bedeutung in der Lebenswelt der Schüler, der Messvorgang erschließt sich den Schülern aber beim derzeitige Stand des Wissens nicht. Da die Aufgabenstellung aber nach der Durchführung des Messvorganges fragt, ist es ein Malus, wenn der Schüler z.B. mit „ich würde ein Radargerät nehmen“ antwortet. Da der Schüler keine Informationen über den Ablauf des Messvorganges bei diesem Gerät besitzt, muss seine Beschreibung naturgemäß sehr lapidar aussehen. Wir gehen davon aus, dass Schüler mit einem durch den Physikunterricht vertieften Verständnis dazu neigen den Messvorgang zu beschreiben, den sie am besten verstanden haben - im positive Fall sind das die eingehend besprochen Messungen mit abgemessenen Versuchsstrecken und Zeitmessung der Zwischenzeiten, oder Versuche mit Nutzung der Videokamera.

Wie man hier sieht, beschreiben die Schüler der Versuchsgruppe schwerpunktmäßig die Messvorgänge, die sie verstehen und beschreiben können. 25 % der Schüler der Versuchsgruppe entscheiden sich dafür, die Messung mit der Kamera zu beschreiben - eine gute Möglichkeit, die den Schülern der Vergleichsgruppen natürlich nicht offen steht. Die mit Abstand häufigste Wahl ist bei allen Gruppen das Messen mit der Stoppuhr entlang einer abgemessenen Versuchsstrecke. Die Häufigkeit dieser Antwort ist bei Schülerinnen und Schülern, die am Unterrichtsversuch in der Laborgruppe oder im Feldversuch teilgenommen haben, etwas höher als in der Vergleichsgruppe. In der Vergleichsgruppe lassen viele Schüler es mit dem einfachen Vorschlag bewenden, auf den Tacho zu sehen (18 % der Nennungen).

Der Anteil der Schülerinnen und Schüler, die diesen Vorschlag machen, im Feldversuch zwar auch bei etwa 15 % (bei den Jungen alleine mit 32 % noch deutlich häufiger), aber bei der Auswertung der Fragebögen wurde deutlich, dass dieser Vorschlag in der Regel noch durch einen anderen ergänzt wurde. Kein Schüler der Laborgruppe äußerte den Vorschlag, den Tacho zu benutzen.

Die Antworten wurden bei der Auswertung auch danach bewertet, ob sie praktikabel waren oder nicht. Natürlich muss der Vorschlag, einen Tacho zu benutzen, als praktikabel gesehen werden - auch wenn er vielleicht nicht die Intention des Lehrers trifft. Das erklärt teilweise, warum 85 % der Vorschläge der Vergleichsgruppe als praktikabel gewertet werden müssen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, neigten die Jungen in allen Gruppen eher dazu, den einfachen Weg zu gehen und auf den „Tacho zu schauen“ Aber auch die Schülerinnen und Schüler, die einen Vorschlag zur Nutzung einer Kamera oder des Stoppuhr/Messband Verfahrens machten, konnten in allen Gruppen in der Regel eine praktikable Beschreibung vorweisen.

Der Cramer’s V Test zeigt, das der Rückgriff auf den trivialen Weg „ich würde einfach den Tacho ablesen“ leider vor allem Männersache ist (linkes Diagramm). Die Mädchen, die an der Unterrichtsreihe teilgenommen haben, sind statt dessen signifikant häufiger dabei, die anspruchsvollere Variante der Messung mit Stoppuhr und Maßband zu beschreiben (rechtes Diagramm). Die Vermutung liegt nahe, dass die Mädchen intuitiv erfassen, dass die triviale Lösung nicht das ist, was im Rahmen des Fragebogens von ihnen erwartet wurde.

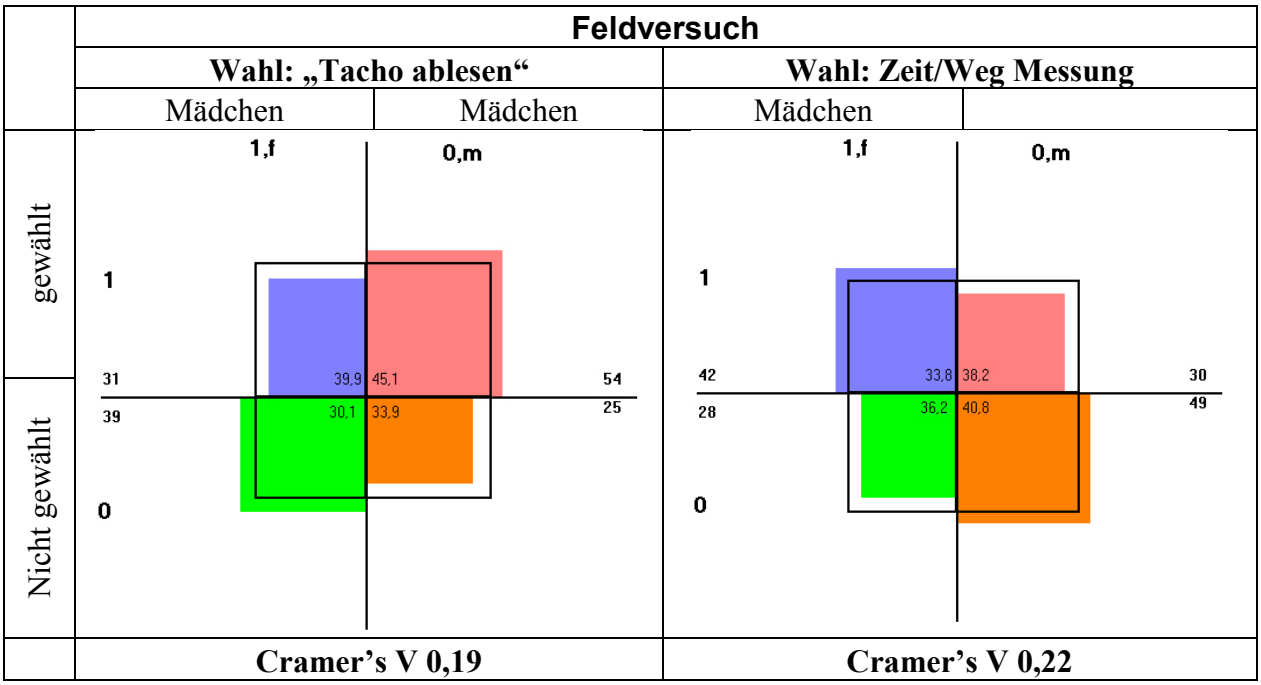
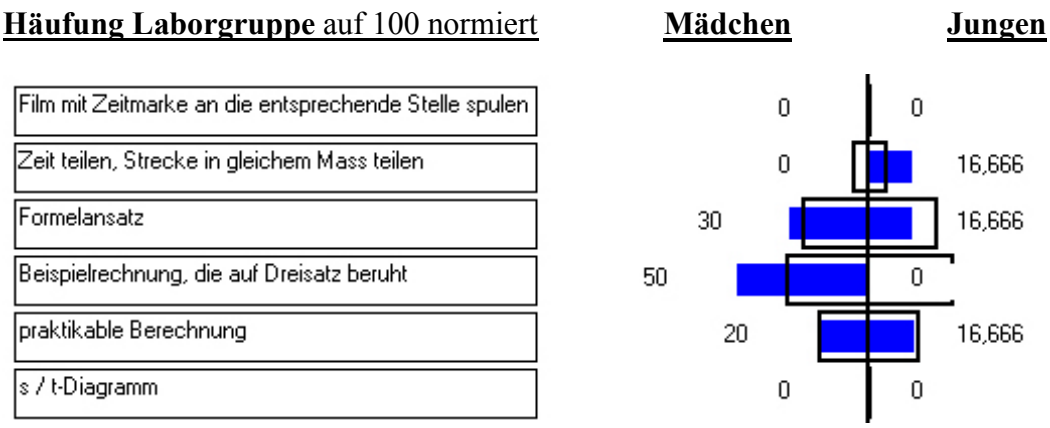


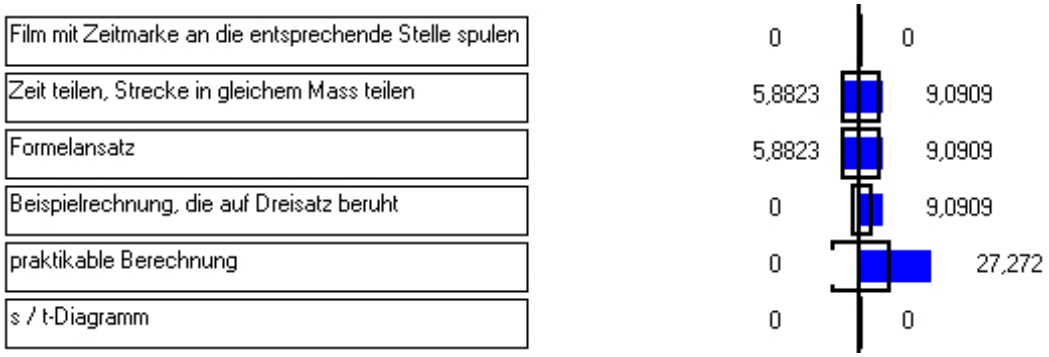
Abbildung 75: Jungen tendieren stärker zur einfachen Antwort „ich würde den Tacho ablesen“ (linkes Diagramm), Mädchen neigen zur anspruchsvolleren Darstellung einer Methode die die Messung von Zeit und Weg beinhaltet.

Positiv wirkt bei den Versuchsgruppen, dass etwa 20 % der Schülerinnen und Schüler ihren Vorschlag zur Geschwindigkeitsmessung durch Angabe der entsprechenden Formel präzisierten. Dies wurde bei den Versuchsgruppen von Jungen und Mädchen etwa gleich häufig vorgenommen, während es in der Vergleichsgruppe von den Mädchen völlig vermieden wurde. Einige wenige Schülerinnen und Schüler aller Gruppen gaben eine Beispielrechnung an.

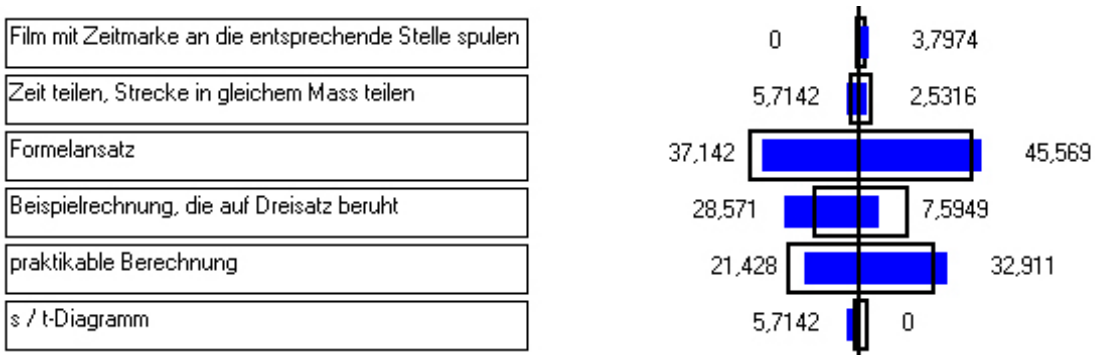
5.3.4.4.4 Auswertung Frage 3c: Vorhersage der gefahrenen Strecke (Lösungsansätze)



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



In Frage 3c wurden die Schüler gefragt, auf welche Weise sie mit Hilfe der in Frage 3b bestimmten Geschwindigkeit bei gegebener Zeit die gefahrene Strecke des Radfahrers bestimmen würden. Dabei stießen insbesondere die Schülerinnen der Vergleichsgruppe auf Schwierigkeiten. Wie sich im Diagramm ablesen lässt, hat keine einzige Schülerin der Vergleichsgruppe eine praktikable Berechnung aufgestellt. Bei den Versuchsgruppen nannten immerhin 27,5 % aller Teilnehmer[154] eine praktikable Berechnung, wobei, positiverweise, keine Unterschiede bei getrennter Betrachtung der Geschlechter deutlich werden.

Auch wenn nur die Ansätze betrachtet werden ist der Unterschied zwischen der Vergleichsgruppe und den Versuchsgruppen deutlich; das Engagement bei dieser Aufgabe ist bei den Versuchsgruppen insgesamt deutlich höher, die Verteilung insbesondere im Feldversuch symmetrischer. Im Mittel wählten nur 7 % der Mitglieder der Vergleichsgruppe einen Formelansatz zur Problemlösung; im Feldversuch waren es im Mittel 41 %. Bei den Mädchen wurde in Laborgruppe und Feldversuch eine Präferenz deutlich, den Weg der Messung mit Hilfe einer Beispielrechnung darzustellen (linkes Diagramm). Die analytische Beschreibung unter Zuhilfenahme von Formel geschah bei beiden Geschlechtern gleich häufig (rechtes Diagramm)

---

[154] Damit ist allerdings nicht gesagt, dass bei einer konkreten Aufgabenstellung nicht wesentlich mehr Mitglieder von Versuchsgruppe und Vergleichsgruppen eine entsprechende Aufgabe korrekt lösen würden.

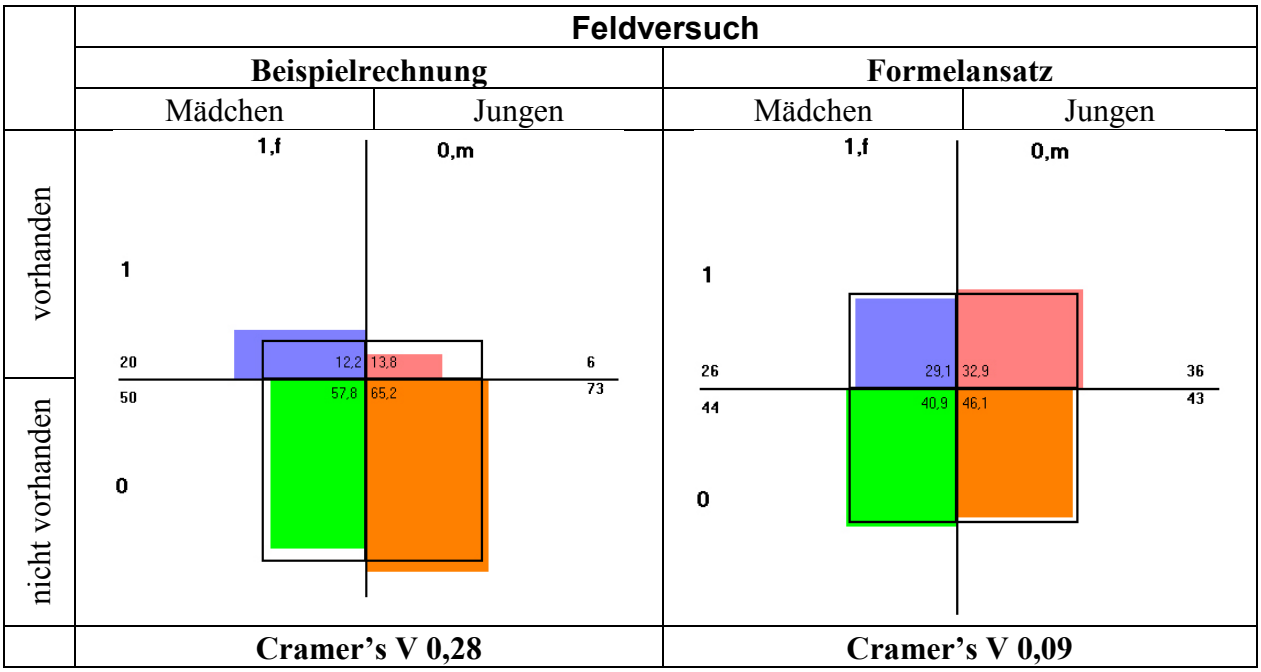


Abbildung 76: Das linke Diagramm zeigt die Neigung der Mädchen, die Bestimmung der gefahrenen Strecke anhand einer Beispielrechnung zu erklären. Formelansätze finden sich dagegen bei beiden Geschlechtern gleichermaßen (rechts).

5.3.4.5 Frage 4: Bisher stattgefundene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt

Frageteil 4 sollte prüfen, ob die Inhalte des Physikkurses bereits zu einer veränderten Wahrnehmung der Schüler in ihrer gegenwärtigen Lebenswelt geführt hat. Von einer offenen Fragestellung angeregt, sollten die Schüler darüber nachdenken, wann sie das letzte Mal dem Kursthema „Geschwindigkeit" im Alltag begegnet sind.

Frage 4:

4. Wann hast Du das letzte mal etwas mit dem Problem der Geschwindigkeit zu tun gehabt? Hast Du Dich dabei an die Inhalte des Physikkurses erinnert? Was hast Du dabei gedacht?

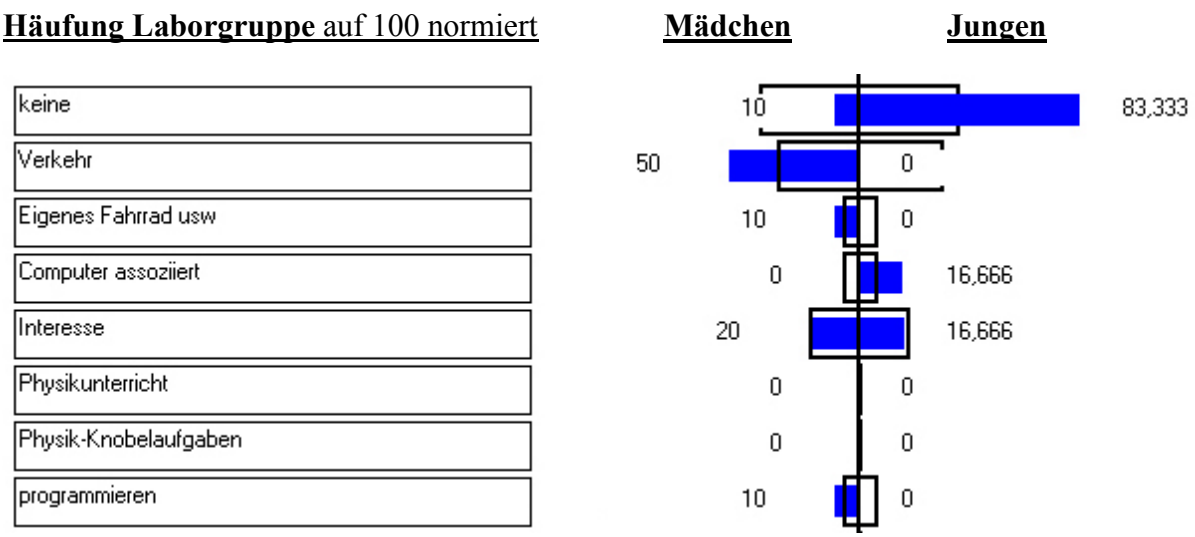
5.3.4.5.1 Ergebnisse

Frage 4: **stattgefundene Übertragungen des Unterrichtswissens in die Lebenswelt (Anteil der Schüler mit der betreffenden Nennung / Mehrfachnennung möglich / Prozentsummen können über 100% sein)**	**Labor-gruppe**	**Feld-versuch**	**Vergleichs-gruppen**
Keine Erinnerung / Keine Angabe	37%	29%	50%
Erinnerung im Zusammenhang mit Straßenverkehr	32%	29%	36%
Assoziation mit dem eigenen Verkehrsmittel (Fahrrad, Mofa usw.)	6%	28%	0%
Assoziation mit Computer	6%	3%	0%
Allgemeine Bekundung von Interesse	19%	8%	14%

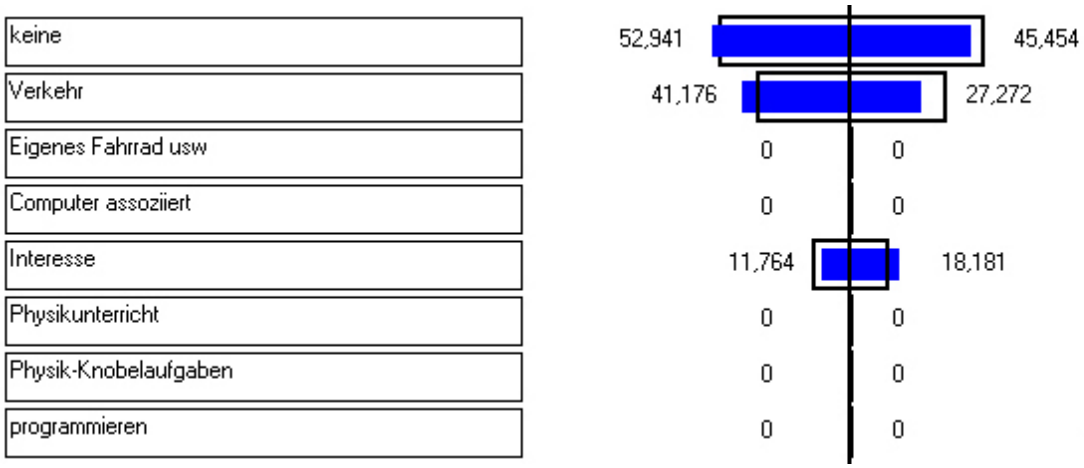
Wenig zufriedenstellend ist, dass 37 % der Schüler der Laborgruppe und immer noch 29 % der Vergleichsgruppe angeben, sich im Alltag bis jetzt nicht an Inhalte des Physikkurses erinnert worden zu sein[155]. Fast alle genannten Assoziationen im Alltag bezogen sich auf das Thema Straßenverkehr, oder standen im Zusammenhang mit Fahrzeugen der Schüler (Fahrräder, Mofa, Fahrschulauto). Dies unterstützt massiv solche Ansätze der Fachdidaktik, die den Straßenverkehr als besonders geeigneten lebensweltlichen Zugang zur Mechanik auffassen. Generell scheint es nach den vorliegenden Erkenntnissen ratsam, zukünftige Unterrichtsreihen zur Mechanik und die Problemstellungen der enthaltenen Experimente noch eher als bisher schon am lebensweltlichen Gegenstand des Straßenverkehrs und seiner Verkehrsmittel auszurichten. Dies ist jedoch kein Wiederspruch gegen das Konzept der Objektorientierten Modellierung im Physikunterricht; es führt aber zu deutlichen Konsequenzen hinsichtlich der Auswahl der zur Validierung der Simulation auszuwählenden Experimente.

[155] Die grafische Darstellung täuscht einen wesentlich höheren mittleren Anteil in der Laborgruppe vor, weil die Jungen sich zwar sehr stark in diese Richtung äußern, aber weniger zahlreich sind als die Mädchen.

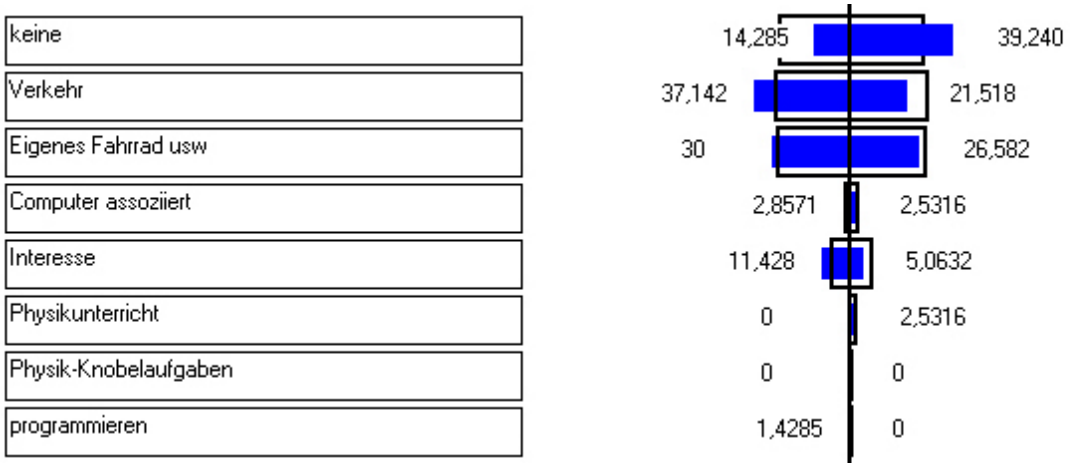
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



Im übrigen unterscheiden sich die Gruppen in der Beantwortung der Frage 4 nicht wesentlich. Die Unterscheidung, ob die Schüler ein Verkehrsmittel oder den Straßenverkehr an sich mit dem Thema in Verbindung bringen, ist nur schwach aussagekräftig. Eine Assoziation mit dem Computer, z.B. im Zusammenhang mit Computerspielen, wurde kaum genannt. Das beruhigt

insofern, als dass die Übertragung des Software-Modells von Geschwindigkeit und Beschleunigung aus dem Computer in die Realwelt von den Schülern offenbar vorgenommen wird. Auf der anderen Seite lässt sich so natürlich kein verstärktes Interesse an der Programmierung mechanischer Modelle nachweisen. Der Anteil der mit „keine Assoziation“ antwortenden Schüler ist bei allen Gruppen unangenehm hoch, wenn auch in den Versuchsgruppen noch geringer als in den Vergleichsgruppen. Eine stichprobenhafte Durchsicht der entsprechenden Bögen fördert an dieser Stelle vielfach trotzige Antworten zu Tage. In andere Bögen, im Feldversuch vor allem denen der Mädchen, findet sich an dieser Stelle direkt im Anschluss an das „keine Erinnerung“ häufig (20 % Laborgruppe, 11 % Feldversuch) die nett gemeinte Aussage, es sei trotzdem „sehr interessant“ gewesen.

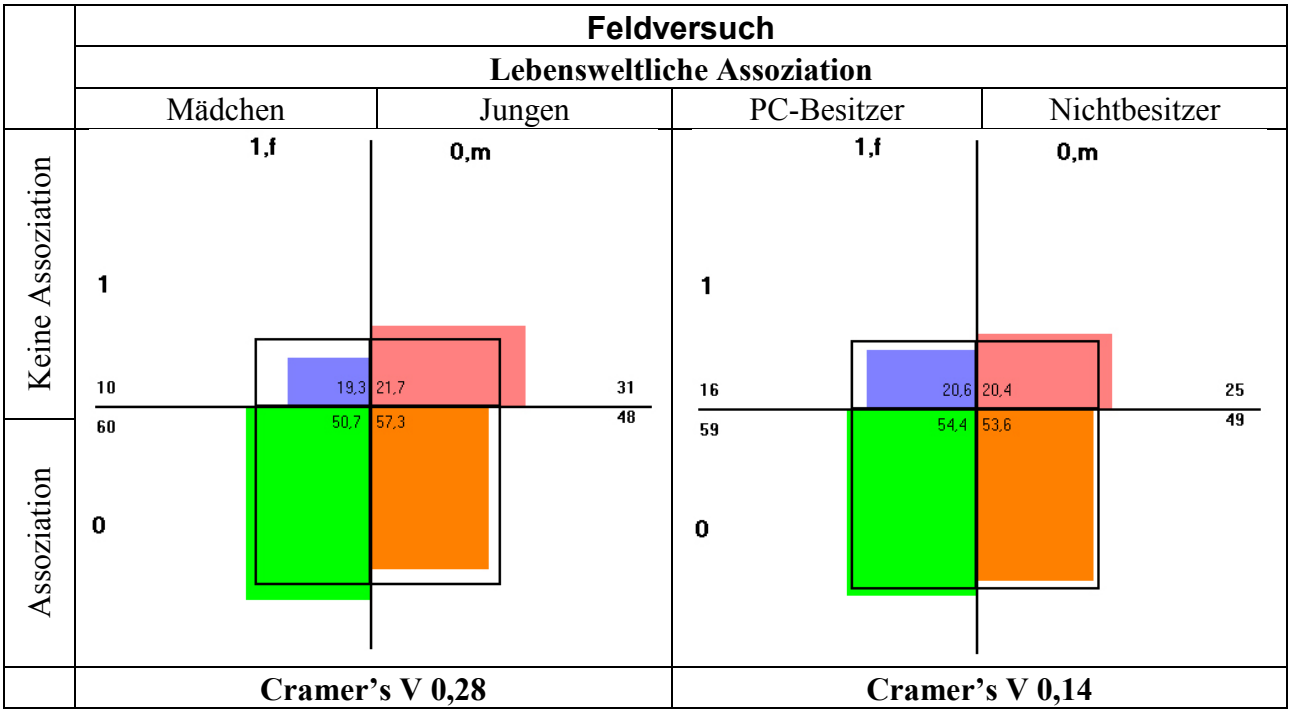


Abbildung 77:Die Antwort „habe mich privat nicht an den Physikunterricht erinnert“ wird vor allem von Jungen geliefert. Der private Besitz eines eigenen Computers spielt keine Rolle.

Der Cramer’s V Test zeigt, dass die Häufigkeit einer fehlenden Antwort oder der Antwort „habe mich nicht an Physik erinnert“ deutlich mit dem Geschlecht korreliert (Cramer’s V = 0,28 bei der großen Stichprobe der Vergleichsgruppe). Es sind vor allem die Jungen, die keine lebensweltliche Anbindung der im Physikunterricht vermittelten Inhalte zu nennen wussten (linkes Diagramm). Mit einem weiteren Korrelationstest sollte geprüft werden, ob vielleicht nur diejenigen eine Assoziation zu nennen wussten, die zu Hause Zugriff auf einen eigenen PC haben und damit die Computersimulationen zu Hause eher nachvollziehen konnten. Diese Korrelation ergibt sich allerdings nicht; mit Cramer’s V = 0,14 zeigt die Korrelation schwach in die entgegengesetzte Richtung (rechtes Diagramm).

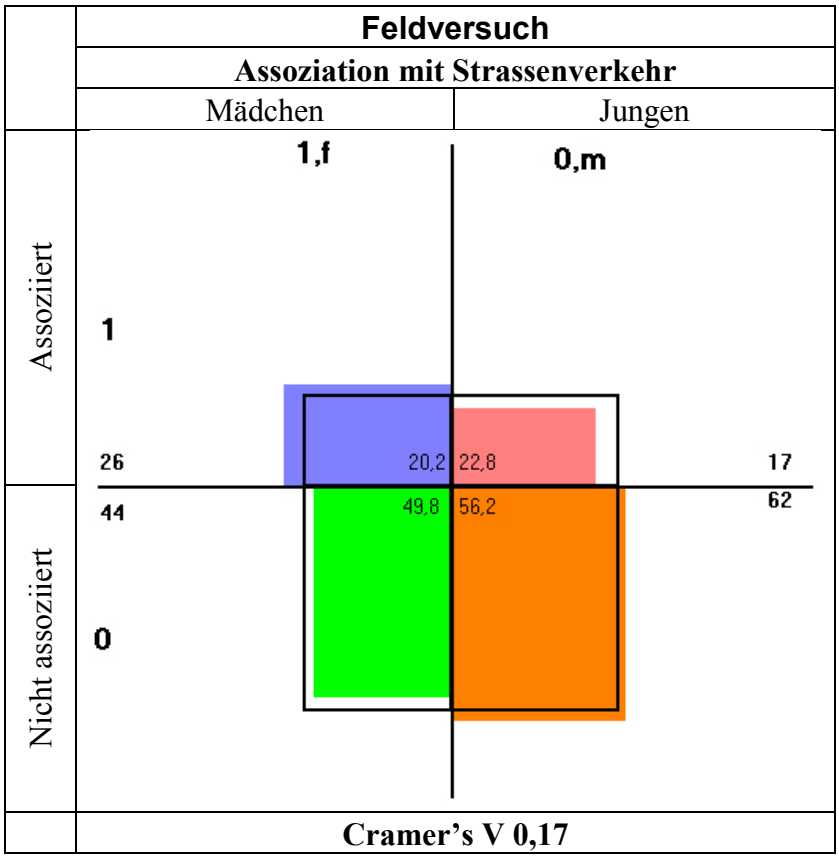


Abbildung 78:Vor allem Mädchen fallen als Assoziationen am ehesten Ereignisse des Straßenverkehrs ein.

Interessant ist eine besondere Korrelation zwischen dem Geschlecht und der Tendenz, bei der Frage nach Erlebnissen im Kontext mit „Geschwindigkeiten" Erlebnisse aus dem Straßenverkehr zu benennen. Dies geschieht über Erwartung häufig durch Mädchen (Cramer's V 0,17). In den Fragebögen wird „Geschwindigkeit" dazu vielfach als etwas bezeichnet, von dem für die Mädchen eine Bedrohung für Leib und Leben ausgeht.

In Verbindung mit den generell guten Bewertungen in den Akzeptanzfragen 1 und 6 kann das Ergebnis der Frage 4 für jeden dritten Schüler so zusammengefasst werden: es war ganz nett und interessant, aber eine Hilfe für mein tägliches Leben finde ich darin nicht.

5.3.4.6 Frage 5: Analyse eines Bewegungsprofils

Der Frageteil 5 stellte den Schülern zur Aufgabe, anhand der gezeichneten Flugbahn zweier Körper zu entscheiden, welcher Körper sich mit der höheren Beschleunigung bewegt. Die gezeichnete Bewegung entspricht der Seitenansicht des waagerechten Wurfes eines Körpers. Der untere der gezeichneten Körper hat jedoch eine höhere gedachte Fallbeschleunigung als der obere, und deshalb eine weniger stark geöffnete Flugparabel. Vor dem Beginn des Parabelfluges ist eine Strecke gezeichnet, die beide Köper im parallel und mit der gleichen Geschwindigkeit zurücklegen. Dies wird im beschreibenden Text auch so erklärt. Damit lässt sich hinreichend erkennen und begründen, dass die beiden Körper sich mit der gleichen Geschwindigkeit in x-Richtung bewegen, das also der Öffnungswinkel der Parabel nur mit der Beschleunigung in y-Richtung zusammen hängen kann.

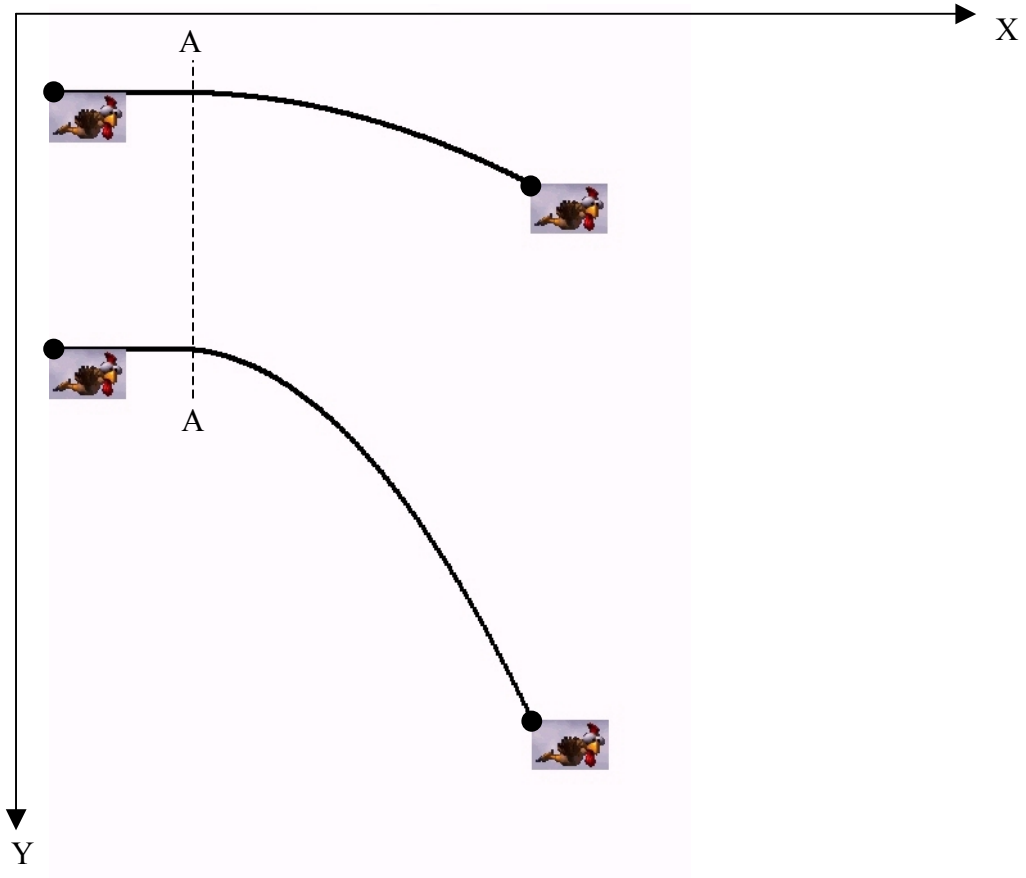
Die Schüler hatten die Möglichkeit, das eingezeichnete Koordinatensystem zu nutzen, um ihre Aussage zeichnerisch zu begründen. Die Aufpunkte der Grafiken, die die fallenden Körper repräsentierten, wurden der Eindeutigkeit wegen hervorgehoben.

Bei den dargestellten Körpern handelte es sich wieder um die bekannten Moorhühner. Die Entscheidung für diese Darstellung fiel nach einigem Abwägen. Entscheidend war letztendlich, das die Moorhühner, aufgrund der hohen Popularität des originalen Spieles „Moorhuhnjagd“ der Phenomedia AG, sowohl bei den Schülern der Versuchsgruppe als auch bei den Schülern der Vergleichsgruppen gleich bekannt ist.

Von der Versuchsgruppe wird allerdings nach Absolvieren des Kurses eine andere Betrachtung der auf dem Bildschirm dargestellten Bewegung erwartet, als von den Vergleichsgruppen. Diese andersartige Betrachtung dieser und ähnlicher Bewegungen zu erfassen und zu bewerten ist letztlich Ziel der Erhebung.

Frage 5:

5. Zwei Moorhühner bewegen sich auf dem Bildschirm mit gleicher Geschwindigkeit nach rechts. Plötzlich - ab der Stelle A - beschleunigen beide nach unten, und folgen der gezeigten Flugbahn.



Welches Huhn beschleunigt schneller, das obere oder das untere? *Begründe!*

5.3.4.6.1 Auswertung

Frage 5 enthält eine offene Fragestellung. Bei der Auswertung wurden die Schülerantworten in Klassen von solchen Antworten geordnet, die jeweils den gleichen Lösungsansatz der Schüler vermuten lassen.

<u>Zu den gebildeten Klassen im Einzelnen</u>:

Argumentation über das Verhältnis von Zeit zur zurückgelegten Strecke

Beispielantwort: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es in der selben Zeit eine längere Strecke zurücklegt“

Diese Antwort entspricht dem Ansatz $s = \frac{1}{2}at^2$ und muss daher als korrekt angesehen werden. Die Gleichung ist im Unterricht thematisiert worden, jedoch nicht sehr ausgiebig. Sehr wahrscheinlich ist jedoch, dass die Schüler die mit dem Geschwindigkeitsbegriff verbundene Beziehung „je größer die Strecke desto höher die Geschwindigkeit“ in naiver Weiser auf den Beschleunigungsbegriff übertragen.

Argumentation über den „Parameter“

Beispielantwort: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil der Parameter größer eingestellt ist.“

Diese Antwort erstaunt zunächst; in der Tat aber ist in der Softwaresimulation das Inkrement der Geschwindigkeit pro Zeit zunächst abstrakt als „der Parameter“ bezeichnet worden. Bei der Suche der Schüler nach dem physikalischen Analogon wurden die Schüler dann zur realweltlichen Beschleunigung geführt.

Dort, wo Schüler mit dem „Parameter“ ihre Argumentation führen, zeigen sie deutlich, dass sie sich geistig gerade in der Modellwelt der Simulation befinden und von dort aus argumentieren. Das ist an sich nicht schlecht; es muss jedoch im Nachtrag im Rahmen des Gruppengespräches geklärt werden, ob die Schüler die im Unterricht grundgelegte Verbindung zwischen der Variable in der Simulation und der realen Beschleunigung ausreichend verinnerlicht haben.

Argumentation über den Neigungswinkel der Flugbahn

Beispielantwort: „Das obere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es einen kleineren Neigungswinkel hat“

Auch diese Antwort wirkt zunächst erstaunlich, zumal sie zu dem Schluss führt, dass das obere Moorhuhn mit der weiter geöffneten Parabel der schneller beschleunigende Gegenstand ist.

Auf Nachfrage ergab sich, dass die betroffenen Schüler offenbar die Angabe der Wirkrichtung der Beschleunigung auf dem Arbeitsblatt nicht richtig erfasst haben. Die Schüler verbanden mit „Beschleunigung“ intuitiv ein Beschleunigen **nach vorn**,

also in x-Richtung. Übernimmt man diese Ansicht, so wäre die Parabel mit der größeren Öffnung, also die obere, tatsächlich die mit der größeren Beschleunigung.

Argumentation über die Bahnkrümmung

Beispielantworten: „Das untere Moorhuhn beschleunigt schneller, weil es eine kleinere (stärkere) Kurve macht." oder „...weil es sehr schnell die Flugbahn verändert."

Diese Antwort ist sehr nahe an der idealerweise geforderten Argumentation mit der Öffnung der Parabel. Physikalisch richtig ist auch, dass ein kleinerer Krümmungsradius einer beliebigen Kurve bei einer gegebenen Geschwindigkeit immer mit einer höheren Beschleunigung des der Kurve folgenden Körpers verbunden ist. Die Wurfparabel ist lediglich die einzige Kurve, in der diese Beschleunigung immer entlang der gleichen Achse (nach unten) weist. Wir gehen davon aus, dass bei den Antworten das richtige gemeint war, wenn auch kein Schüler die Kurve tatsächlich als Parabel erkannt hat.

Argumentation über Bogenlänge

Beispielantwort: „Das untere, weil es einen kleineren Bogen fallen muss. Das obere muss ja noch den ganzen Weg drum rum machen."

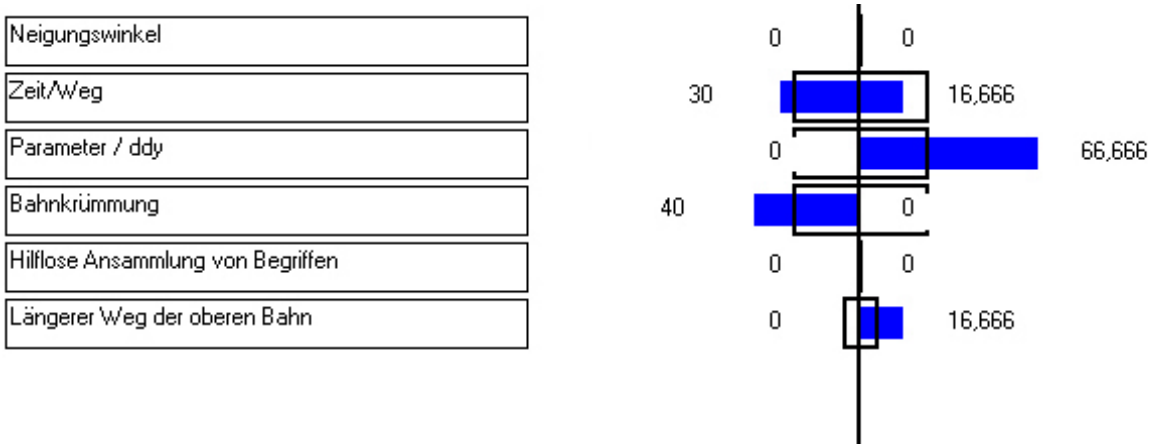
Diese Antwort zeigt ein mangelndes Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Abläufe.

Nach der Klassierung wurden die Häufigkeiten der Antworten in den verschiedenen Klassen gezählt, getrennt nach Kursen und Geschlechtern. Damit bildeten sich 6 Untergruppen. Nun wurde die Häufigkeit für das Auftreten einer bestimmten Antwort in der jeweiligen Untergruppe ermittelt. Die Aufteilung in 6 Untergruppen wurde hierbei nach einigen Versuchen gewählt, weil sie besonders aufschlussreiche Ergebnisse liefert - wie im Anschluss ersichtlich werden soll.

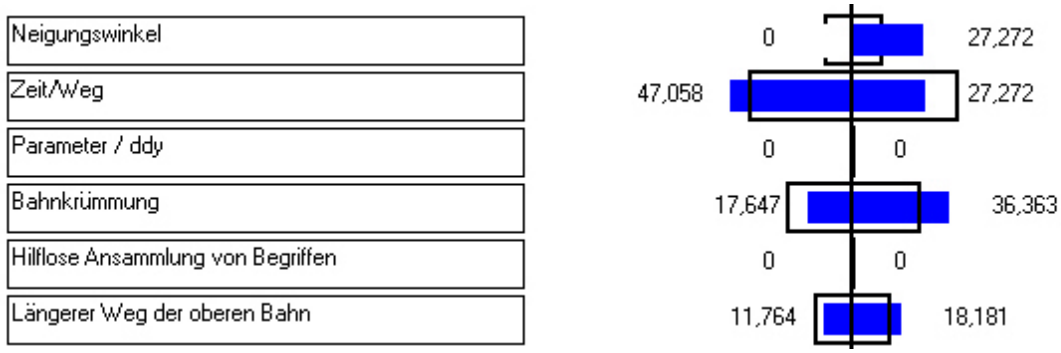
Da die Antwort einiger Schüler mehr als eine Begründung erhielt, kann die Summe der Häufigkeiten für alle Antworten in einer Gruppe deutlich über 100 % liegen. In der Versuchsgruppe begründeten z.B. alle Jungen (100 %) ihre Antwort mit dem „Parameter"; einer zusätzlich auch noch mit dem Neigungswinkel der Bahn (17 %), wodurch sich für beide Antworten zusammen eine Häufigkeit von 117 % ergibt.

Umgekehrt haben sich in vielen Gruppen auch Teilnehmer gänzlich jeder Antwort enthalten. Damit kann die Häufigkeit für alle denkbaren Antworten in einer Untergruppe insgesamt auch unter 100 % liegen.

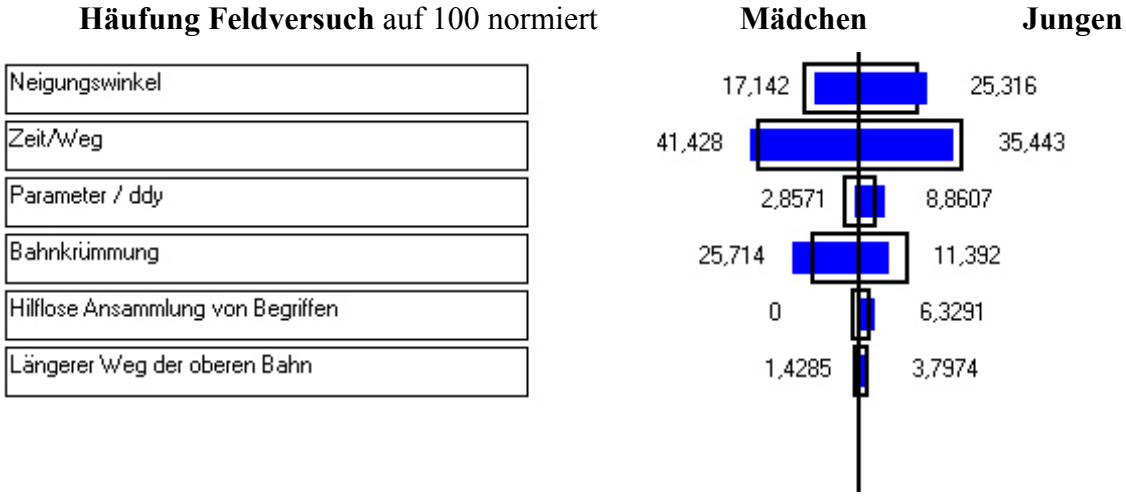
Häufung Laborgruppe auf 100 normiert



Häufung Vergleichsgruppe auf 100 normiert



Häufung Feldversuch auf 100 normiert



In der Laborgruppe stürzten sich die Jungen nahezu auf den Ansatz, die Unterschiede der in der Skizze dargestellten Bewegung mit dem „Parameter“ zu erklären, der in der Simulationswelt zur Anpassung der Simulation an die physikalisch messbare Realität diente. Dabei handelt es sich zweifellos um einen quantitativen Ansatz zu Lösung des Problems, und einige Jungen gaben auch tatsächlich Schätzungen ab, welche Zahlenwerte für den Parameter zum Verlauf der gezeigten Flugbahnen führen würde. Von den Mädchen wurde dieser Ansatz nur wenig genutzt, und in diesen Fällen auch nur ergänzend (Mehrfachantworten waren erlaubt!). Statt dessen nutzten **70 %** der Mädchen der Versuchsgruppe den quantitativen Ansatz über Zeit/Strecke - signifikant mehr als irgendeine Untergruppe der Vergleichsgruppen.

Diese geschlechtsspezifische Polarisierung durch das Kurskonzept in der Laborgruppe ist im Feldversuch nicht im gleichen Umfang bestätigt worden. Sichtbar ist im Feldversuch eine besondere Präferenz der Mädchen, aus der Form der Bahn (d.h. aus der Öffnung der Parabel) auf die Höhe der Beschleunigung zu schließen (linkes Diagramm). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Mädchen Diagramme und Bewegungen tendenziell eher holistisch und formwahrnehmend als detailbezogen-analytisch betrachten.

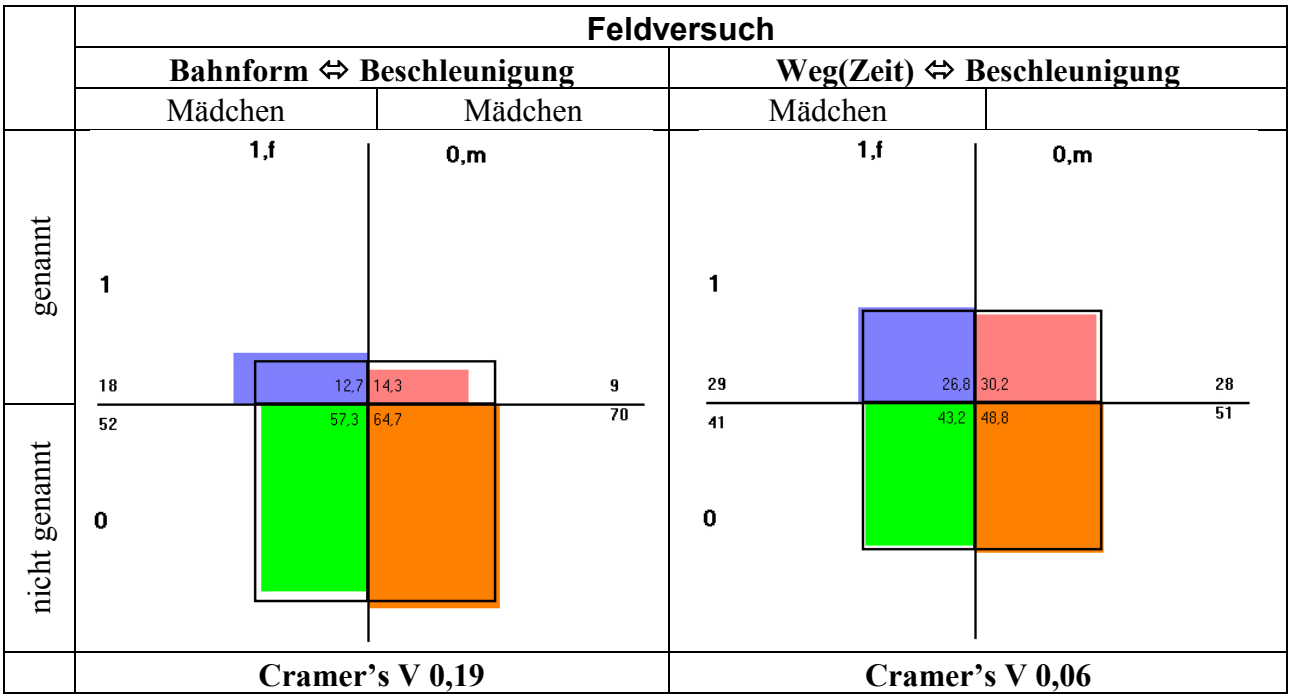


Abbildung 79: Die Mädchen zeigen eine Präferenz, aus der Form der Kurve auf die Beschleunigung zu schließen (linkes Diagramm). Der Schluss vom Weg auf die Beschleunigung ist in der Häufigkeit dagegen nicht mit einem Geschlecht korreliert.

Würde sich dies als eine generelle Tendenz erweisen, wäre der Physikunterricht gezwungen, bei der Arbeit mit Diagrammen stärker auf dieses Geschlechtsspezifikum einzugehen.

Die am häufigsten vorgefundene und stärker analytische Wahrnehmung, aus dem Diagramm den von den Hühnern zurückgelegten Weg zu ermitteln und zu vergleichen (entsprechend $s = \frac{1}{2}at^2$) wird von beiden Geschlechtern gleich häufig beschritten (rechtes Diagramm)

Insgesamt ist die Vielfalt und die absolute Anzahl physikalisch gehaltvoller Antworten, die die Versuchsgruppen geliefert haben, größer als bei den Vergleichsgruppen.

5.3.4.6.2 Hypothesenformulierung

Vor dem Gespräch mit den Schülern bleibt es eine Vermutung, ob die Schüler, die die Flugbahn des Körpers mit dem beschriebenen „Parameter" in Verbindung bringen, damit auch die Verbindung zur physikalischen Realität eingesehen haben. Wir unterstellen, dass den Schülern nach Ablauf der Unterrichtsreihe den deutlich betonten Zusammenhang zwischen der physikalisch messbaren Beschleunigung und dem zur Anpassung der Simulation verwendeten Parameter bei der Formulierung der Antwort als Selbstverständlichkeit verstanden haben und

deswegen keine weitere Erläuterung ausführten. Dies muss aber in einem protokollierten Gespräch mit den Mitgliedern der Versuchsgruppe auch so abgesichert werden.

Weiterhin ist auffällig, dass beide Geschlechter auf völlig unterschiedliche Art von der Unterrichtsreihe profitiert zu haben scheinen. Die Jungen sind durch ihre intrinsische Motivation stark auf den Einsatz des Computers fixiert. Die Frage ist: was bedeuten ihnen dabei die physikalischen Hintergründe und die durchgeführten Experimente?

Auf der anderen Seite haben den Ergebnissen der Befragung zu Folge auch die Mädchen stark von der in der vorliegenden Form durchgeführten Unterrichtsreihe profitiert. Sie haben deutlich mehr physikalisch sinnvolle Antworten liefern können als die Mädchen der Vergleichsgruppen. Die Antworten auf die offenen Fragestellung sind aber fast ausnahmslos auf die real beobachtbare Physik bezogen, und kaum auf die Computersimulation. Dennoch haben die Mädchen in ihren Antworten auf die Frage 6a sehr wohl den Wunsch geäußert, Computer weiterhin im Unterricht einzusetzen. Hier ist die Frage: was bedeutet den Mädchen die Arbeit mit dem Computer? Wie haben die Mädchen von dessen Einsatz profitiert?

5.3.4.6.3 Gruppengespräch

Das Gruppengespräch befragte zunächst gezielt die Untergruppe der Mädchen: Wie hat ihnen die Arbeit mit dem Computer gefallen? Welche Vorteile sehen sie beim Einsatz des Computers?

Die Mädchen äußerten, man könnte „es sich so viel besser vorstellen“. Bei der Nachfrage, welchen Vergleichsmaßstab die Mädchen dafür ansetzten, wurden vor allem die Lehrbücher genannt. Generell scheinen die Mädchen vor allem die Visualisierungsmöglichkeiten des Computers beim Umgang mit schwer vorstellbaren oder schwer beobachtbaren Vorgängen zu schätzen. Dies würde bedeuten, dass die Mädchen nicht unmittelbar Wert auf ein handlungsorientiertes Umgehen mit dem Computer, und eigenes Programmieren legen würden.

Die an die Untergruppe der Jungen gerichtete Frage richtete sich auf den Wert der physikalischen Experimente für ihre Arbeit. Wenn den Jungen primär am Programmieren im Physikunterricht gelegen wäre, müsste die direkte Auseinandersetzung mit realen Physikexperimenten für sie nebensächlich und möglicherweise sogar überflüssig erscheinen.

Das wurde von den Jungen jedoch heftig bestritten.

„Was man lernt muss man auch umsetzen können“, war der erste Einwand, und: „Experimente machen die Sache erst interessant“. In einer etwas zusammenhängenderen Rede stellte ein Schüler dar, das sie die Simulation zwar gerne programmiert hätten, aber doch nur durch die Experimente beweisen konnten, dass die Simulationen auch „echt“ waren.

Ein anderer Schüler verwies auf den „Parameter“ und auch auf die entsprechende Variable, die bei der Behandlung der gleichförmigen Bewegung genutzt wurde: „Man müsste sich dafür ja sonst Zahlen ausdenken“. Der Abgleich mit der physikalischen Realität verhindert also im Auge der Schüler, dass die Simulation willkürlich erscheint.

5.3.5 Zusammenfassung

Die begleitende Untersuchung zum Einsatz Objektorientierter Modellbildung im Physikunterricht sollte vor allem belegen, dass die Objektorientierte Modellbildung als Unterrichtsmethode einem konventionellen Schema von Physikunterricht mindestens gleichwertig ist, und die besondere konzeptuelle Überlegenheit in den Bereichen „Mädchenförderung“ und „Problemlösendes Denken und Handeln“ zeigen.

Es sollte abgeschätzt werden, inwieweit der Zeitaufwand für die Einführung des Computers als Werkzeug zur Modellbildung die Aufmerksamkeit der Schüler auf den physikalischen Hintergrund raubt. Gleichzeitig sollte sorgfältig geprüft werden, ob der massive Einsatz von Computern und die Programmierung von Software-Modellen physikalischer Vorgänge zu einer Benachteilung von Mädchen im Physikunterricht führt.

Im Ergebnis kann mit ausreichender Sicherheit festgehalten werden, dass die Teilnehmer der Unterrichtsreihe zur objektorientierten Modellbildung keine Nachteile davongetragen haben. Dafür spricht sowohl die subjektive Einschätzung der Schüler, gemessen an den guten Akzeptanzwerten der Fragen 1 und 6, als auch die objektive Wertung durch die Testfragen 3 (Messung und Berechnung von Geschwindigkeiten) und 5 (Bewertung einer beschleunigten Bewegung in zwei Ebenen). Die Modellvorstellungen der Schüler, gemessen an den Assoziationstests in Frage 2 und 4, sind auf ähnlichem Niveau ausgeprägt.

Folgende **Vorteile des Vorgehens mit Hilfe der Objektorientierten Modellbildung** wurden sichtbar und lassen sich durch die Untersuchung belegen:

1. Die Teilnehmer am Unterrichtsversuch schätzen den quantitativen Umgang mit Physik höher als die Teilnehmer der Vergleichsgruppe.

2. Sie nutzen wesentlich eher Formeln zur Beschreibung von Zusammenhängen, und zur Lösung von Problemen (Fragen 2 und 3).

3. Sie lehnen den Umgang mit Physikbüchern nicht kategorisch ab wie die Mitglieder der Vergleichsgruppe, sondern schätzen sie als unterstützende - aber auf keinen Fall als einzige - Informationsquelle (Gruppengespräch zu Frage 6b).

4. Die Teilnehmer der Versuchsgruppen zeigen sich kreativ und engagiert:

    a. sie haben wesentlich mehr verschiedene Vorschläge zur Bestimmung der Geschwindigkeit von Objekten als die Vergleichsgruppe,

    b. können ihre Vorschläge praktikabel beschreiben und

    c. selbstständig und korrekt durchführen (sie Skizze des Unterrichtsversuches in der Laborgruppe).

5. Erfreulich gut ließ sich die Sorge um die eventuelle Benachteiligung von Mädchen im stark computergestützen Physikunterricht wiederlegen. Die Mädchen der Laborgruppe und des Feldversuches zeigen ihren eigenen Stil, indem sie lieber mit verbalen Definitionen und Beispielrechnungen als mit geschlossenen Formeln arbeiten, und kommen

damit zu absolut vergleichbaren Ergebnissen. Darüber hinaus zeigen sie sich als aufmerksame Beobachter und geschickte Experimentatoren. Bei der Begleitung des Unterrichtes in den Feldversuchen konnte beobachtet werden, dass die Kamera ebenso häufig von Mädchen wie von Jungen bedient wurde; zwar haben diese Mädchen streng genommen damit wieder die Funktion einer Protokollantin, aber da die aufzeichnende Kamera gleichzeitig Messinstrument ist muss man es dennoch als eine wesentliche Aufwertung betrachten.

Es kann nicht bestritten werden, dass auch in den Lerngruppen des Unterrichtsversuches zwischen den Geschlechtern eine Rollenverteilung beobachtet werden konnte. Diese äußerte sich hierbei jedoch so, dass die Jungen sich vor allem durch ihre Fähigkeiten im Umgang mit Computern hervortaten. Dort wo die Mädchen eigenen Gruppen zugeordnet wurden, denen jeweils ein PC zu Verfügung stand, konnte aber beobachtet werden, dass unter einer konkreten Zielvorgabe das zielgerichtete und problemorientierte Vorgehen der Mädchen dem spielerisch-leichten Umgang der Jungen in Nichts nachstand. Bei der Durchführung der Experimente profitieren die Mädchen sogar davon, dass die Jungen in dieser Unterrichtsreihe eher den Computer als ihre Domäne sehen, und so den Mädchen mehr Freiraum bei den physikalischen Experimenten lassen.

5.4 Dritter Teil: Einsatz, Erprobung und Evaluation von Komponentenorientierter Lernsoftware im Technikunterricht der Gymnasialen Oberstufe

5.4.1 Über das Unterrichtsthema

Als beispielhaften Gegenstand wurde ein Ausschnitt aus der Regelungstechnik gebildet, und zwar die Drehzahlregelung eines Motor-Generator-Satzes mit stetigen Reglern. Die Unterrichtsreihe soll einen einführenden Charakter haben und die Schüler mit gängigen Begriffen, Methoden und Problemstellungen der Regelungstechnik vertraut machen.

Ein Thema aus dem Gebiet der Regelungstechnik bietet sich, neben der guten Integration in den Themenkatalog des Technikunterrichtes der gymnasialen Oberstufe, durchaus auch mit Blick auf aktuelle Bezüge an. Die Regelungstechnik ist schon eine recht traditionsreiche Wissenschaft. Vorläufer regelungstechnischer Anordnungen sind bereits aus der Antike und von Leornardo da Vinci überliefert worden; als Begründer der modernen Regelungstechnik gilt James Watt, und zwar ebenfalls mit einer Drehzahlregelung: er verwendete ein Fliehkraftpendel zur last- und dampfdruckunabhängigen Drehzahlregelung seiner Dampfmaschinen[156]. In allen Ingenieurwissenschaften, der Verfahrenstechnik, vermehrt auch in der Biologie und den systemtheoretisch orientierten Sozialwissenschaften stellt die Regelungstechnik eine Grunddisziplin dar.

Dennoch ist sie gerade zur Zeit hochaktuell: Grund dafür ist die zunehmende Miniaturisierung leistungsfähiger Computer und deren Integration in immer mehr stationäre und mobile

---

[156] Leonard, W.: Regelungstechnik. In: Forschung in der Bundesrepublik Deutschland. Beispiele, Kritik, Anregungen. Im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) von Christoph Schneider (Hrsg.): Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel: Verlag Chemie, 1983. Seite 757.

technische Systeme. Derzeit bekanntestes Beispiel ist die neue „elchsichere“ A-Klasse der Daimler-Benz AG, bei der eine fahrdynamische Regelung, das „Elektronische Stabilitäts Programm“ ESP, unter Nutzung einer Vielzahl von in modernen Fahrzeugen ohnehin vorhandener Sensoren (ABS, Lenkwinkel, Längs- und Querbeschleunigung, Fahrzeuggeschwindigkeit, Betriebszustand des Motors...) ständig die Fahrzeugstabilität überwacht und die erkannten Risikofaktoren durch kontrollierten Eingriff in das Motormanagement und die Bremsen der einzelnen Räder entgegenwirkt.

Ein vergleichbarer Umbruch findet in der Luft- und Raumfahrttechnik statt. Wir finden dort vermehrt Luftfahrzeuge, deren Lagestabilität nicht mehr wie gehabt durch aerodynamische Maßnahmen gewährleistet wird, sondern nur noch durch eine computergestützte Fluglageregelung. Insbesondere moderne Militärflugzeuge wie der „Eurofighter“ gelten als aerodynamisch so instabil (und damit aber auch wendig), dass sie alleine vom Piloten nicht mehr beherrscht werden können. Hier muss die beschränkte Reaktionszeit des Menschen massiv durch die hohe Informationsverarbeitungskapazität moderner Computer unterstützt werden. Deren steigende Leistungsfähigkeit und moderne numerische Verfahren machen auch komplexe Systeme mit nichtlinearem Verhalten beherrschbar. Der Wegfall der Flächen zur aerodynamischen Stabilisierung senkt Gewicht und Treibstoffverbrauch in so hohem Maße, dass alleine aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten heraus sich diese Technologie bald auch in der Zivilluftfahrt durchsetzen wird.

Somit ist die Regelungstechnik ein aktuelles Beispiel dafür, wie sich mit modernen Systemen der Informationsverarbeitung traditionelle technische und physikalische Grenzen überwinden oder zumindest immer weiter hinausschieben lassen.

5.4.2 Evaluation zur Verbesserung des Lernverhaltens

Ein wesentliches Merkmal des selbstgesteuerten Lernens ist, dass der Lernprozess nicht mehr vom Lehrer, sondern vom Lernenden selbst organisiert wird. Während der Nutzen dieses Konzeptes in der Erwachsenenbildung unumstritten ist[157], müssen im allgemeinbildenden Unterricht einige Probleme gelöst werden:

Schulkinder verfügen im allgemeinen noch nicht über die gleichen metakognitiven Kompetenzen wie Erwachsene mit abgeschlossener Schulbildung. Effektive Lernstrategien und die Fähigkeiten zur Selbstbeobachtung und -steuerung beim Lernprozess müssen in ihnen erst noch angelegt werden.

Um diese metakognitiven Kompetenzen zu erlangen, sind die Schüler daher auf eine Beobachtung und Bewertung ihrer Lernstrategien angewiesen. In dem Maß, in dem sich der Lehrer aus dem unmittelbaren Lernprozess herausnimmt, verliert er aber die Möglichkeit, die Lernstrategien seiner Schüler kritisch zu betrachten.

Diese Problemstellung wird bereits bei der traditionellen Einzel- oder Gruppenarbeit mit Arbeitsblättern erreicht. Die Kapazität des einzelnen Lehrers reicht in der Regeln nicht aus, um

---

[157] Zimmer, G.: Mit Multimedia vom Fernunterricht zum offenen Fernlernen. In: Issing, L. J.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Psychologie Verlags Union, 2. Auflage 1997. Seite 342.

den Weg der Informationsaufnahme bei allen seinen Lerngruppen beobachten zu können. Einige einfache Versuche, die ich mit Teilnehmern eines Lehrerausbildungsseminars durchführte, machten dies bereits deutlich[158].

Aber auch mit einer verstärkten Betreuung ließe sich das Problem nicht aufheben. Die bloße Anwesenheit des Lehrers führt in der Regel schon zu einer Änderung der Lernstrategie, so dass in diesem Fall das Prinzip der Selbststeuerung teilweise wieder aufgehoben würde. Will man selbstgesteuertes Lernen in einem realitätsnahen Kontext ermöglichen, ohne auf die Betreuungsfunktion zu verzichten, benötigt man eine Überwachung der Lernstrategie, die folgende Randbedingungen erfüllt:

- Sie darf den Schüler nicht ablenken.
- Sie muss ständig aufzeichnen, um anstatt von Stichproben ein Gesamtbild des Lernvorgangs zeichnen zu können.
- Sie muss schnell reagieren können.
- Sie muss große Informationsmengen aufnehmen, speichern und bei Bedarf übersichtlich darstellen können.

Alle oben genannten Funktionen werden sehr gut von Computern erfüllt. Wo also Informationen mit multimedialen Lernprogrammen vermittelt werden, liegt es nahe, mit dem gleichen Computer auch die verwendete Strategie der Informationsaufnahme aufzuzeichnen.

An dieser Stelle sei jedoch ausdrücklich auf die Bildschirmarbeitsverordung (BildschArbV) hingewiesen. Der Anhang zur BildschArbV §4 besagt in Ziffer 22 (Arbeitsumgebung) im Wortlaut: „Ohne Wissen der Benutzer dürfen durch die Software keine qualitativen oder quantitativen Kontrollen erfolgen." In jedem Fall also sind die Schüler über die Aufzeichnung ihrer Aktionen zu informieren. Darüber hinaus möchte ich dringend betonen, dass sich **die Aufzeichnungen in keiner Weise für eine Leistungsbewertung einsetzen lassen:**

Es besteht zunächst kein Zusammenhang zwischen einer verfolgten Lernstrategie und einer Unterrichtsleistung. Bewertet werden können nur die Arbeitsergebnisse, die nach der mehr oder weniger erfolgreichen Anwendung einer Lernstrategie entstehen.

Der derzeitige Wissenstand erlaubt es noch nicht, Lernstrategien zuverlässig zu identifizieren.

Die Benotung der Lernstrategie rückt das Lernen mit Multimedia-Software in eine völlig veränderte Perspektive. Insbesondere kann man in diesem Fall nicht mehr von selbstgesteuertem Lernen sprechen, da die Bewertungskriterien von außen festgesetzt werden.

---

[158] Einigen Gruppen von Lehramtsanwärtern nicht-technischer Fächer wurde die Aufgabe gestellt, mittels auf Arbeitsblättern dargebotener Informationen aus einfachen Bauteilen eine Schrittmotorsteuerung zu realisieren. Dabei hatte ein Gruppenmitglied die Aufgabe, den Weg der Informationsaufnahme (aus Arbeitsblatt, Diskussion mit Betreuer, Versuch-und-Irrtum, Vorwissen...) festzuhalten. Damit sollte die Gruppe anschließend ein Flussdiagramm ihrer Lernstrategie erstellen. Dies führte zu erstaunlich komplexen Strukturen, die in der normalen Gruppenarbeit ohne den eigenen Beobachter in der Regel nicht wahrgenommen werden.

Das Lernmodul „Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors“ benutzt SQL-Anweisungen, um in einer Access-Datenbank den Zugriff auf die 15 Informationskarten mit Zeitpunkt und Dauer für jede einzelne Gruppe festzuhalten. Darüber hinaus wird protokolliert, wann die Leitfragen zu den einzelnen Kapiteln beantwortet wurden, und welche Punktzahl dabei erzielt wurde.

Die Lerngruppen melden sich aus diesem Grund mit Namen und Passwort am Lernprogramm an. Die Datenbanken können mit Standardsoftware (zum Beispiel MS Office Professional) gelesen und dargestellt werden. Lesebeispiele finden sich im Abschnitt „Analyse der Zugriffs-Statistiken“ des Kapitels „Reflexion“.

5.4.3 Multimedia und Projektmethode

Besonderes Gewicht und langfristigen Nutzen hat ein Lernmodul zum Einsatz im technisch-naturwissenschaftlichen Unterricht vor allem dann, wenn es sich gewinnbringend zur Unterstützung von Projektarbeit einsetzen lässt. Hier hat das Lernmodul vor allem dort Vorteile, wo zur Lösung eines technischen Teilproblems Sachinformationen vermittelt werden müssen, was ansonsten eine Unterbrechung der Projektarbeit zugunsten eines Lehrgangs / Frontalunterrichtes zu Folge hätte.

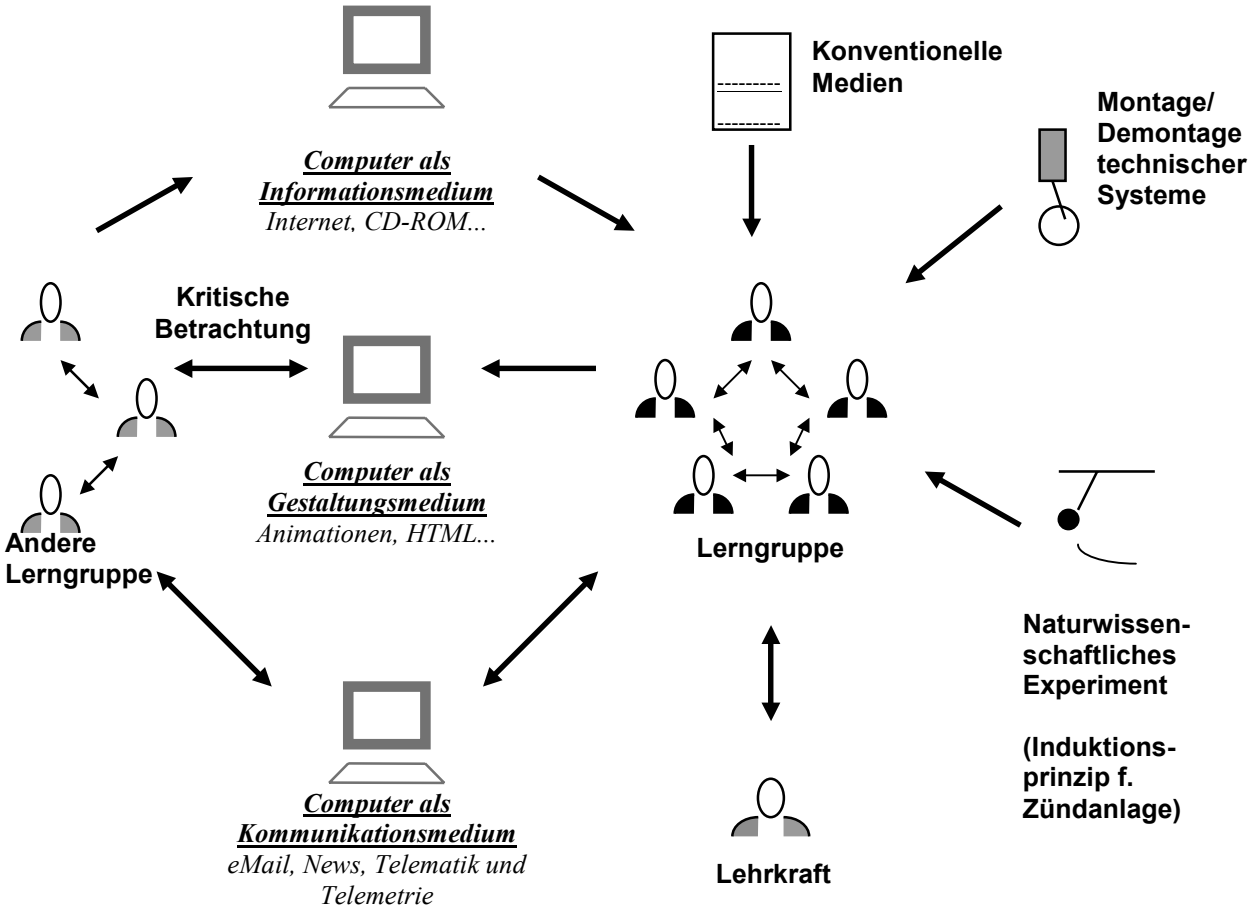


Abbildung 80: Die denkbaren Einsatzfelder von multimediafähigen Computern im offenen projektartigen Unterricht.

Die Abbildung 80 zeigt das denkbare Einsatzfeld von multimediafähigen PC bei Unterrichtsprojekten und anderen offenen Unterrichtsformen. Kennzeichnend ist, dass eine Schülergruppe im Mittelpunkt steht, die in konstruktiver Arbeit ein (Projekt-)ziel verfolgt und dabei Wissen und Anregungen aus diversen konventionellen und neuen Informationsquellen bezieht und einsetzt.

Die Lehrkraft tritt nur als eine aus dem Kanon der Informationsquellen in Erscheinung; freilich ist diese „Informationsquelle“ deswegen bemerkenswert, weil sie im Normalfall über größere Flexibilität verfügt und natürlich in ihrer beobachtenden und betreuenden Position noch eine gewisse Autorität und Verbindlichkeit einbringen kann. Im Idealfall ist dies aber vielleicht gar nicht nötig.

Nachteil der Informationsquelle „Lehrkraft“ ist stets, dass sie nur eine eingeschränkte Verfügbarkeit hat: bei der Betreuung mehrerer Lerngruppen muss sich die Lehrkraft stark aufteilen. Ebenso eingeschränkt sind die Medien, über die die Lehrkraft „naturgegeben“ verfügt, wenn sie Informationen vermitteln soll: Sprache, Schrift und Gestik kommen bei der Vermittlung naturwissenschaftlicher und technischer Prozesse mit ihrem zumeist ausgeprägten Raum- und Zeitverhalten schnell an ihre Grenzen. Hier ist der Lehrer besser beraten, auf Medien wie Filme, Modelle und bewegte Grafiken zurückzugreifen.

Nachteilig ist bis jetzt, dass diese Medien meist nicht bei der Betreuung von Gruppenarbeit zur Verfügung stehen! Schnell einen Lehrfilm auszuwählen, der wahrscheinlich noch gespult werden muss, ist ein Weg, den kaum ein Lehrer bei der Betreuung von Gruppenarbeit wählen wird - von der Störung der Arbeit anderer Gruppen ganz abgesehen. Auch Modelle sind nicht beliebig verfügbar.

Zur Lösung beider Probleme - der eingeschränkten Verfügbarkeit des Lehrers in seiner Funktion als Betreuer und der eingeschränkten Verfügbarkeit aussagekräftiger Medien zur rechten Zeit am rechten Ort - ist der Einsatz von multimediafähigen PC ein wichtiger Ansatz. Die schon länger bekannten Vorteile multimedialer Wissensvermittlung sollten dabei natürlich ebenfalls genutzt werden. Multimodale Informationscodierung über Bilder, Texte, Grafiken und Filme ermöglicht dem Lernenden eine Informationsaufnahme über die ihm adäquaten Informationskanäle. Lernschwierigkeiten, die sich aus der mangelhaften Ausprägung des vom Lehrer präferierten Informationskanals (Text oder Sprache oder Bilder) beim Lernenden entwickeln können, werden so vom Ansatz her umgangen. Im konventionellen bzw. Frontalunterricht wird es eher zur Verwirrung führen, wenn der Lehrer sich bemüht, ein und den gleichen Sachverhalt auf viele verschiedene Arten und Weisen darzustellen, um die gleiche Multicodierung zu erzielen. Bei dem Multimedia-Lernmodul zur Drehzahlregelung eines Motor-Generator-Satzes werden zusammengehörige Wissensgebiete mit ihren verschiedenen medialen Darstellungen auf einzelnen Hypercards zusammengefasst. Es wird sich zeigen, ob die Schüler dieses als alternatives Angebot auffassen, oder als Überangebot mit mehr verwirrenden Folgen.

Das Lernmodul kann in diesem Fall der gesamten Unterrichtsgruppe oder einer mit dem entsprechenden Problem betrauten Teilgruppe ermöglichen, sich selbstgesteuert das notwendige Fachwissen anzueignen. Dies kann sogar zeitlich und räumlich vom restlichen Unterrichtsgeschehen getrennt, also besonders flexibel, erfolgen.

Im diesem Fall ist die betrachtete Reihe eingebunden in ein jahrgangsübergreifendes Projekt zum Thema Energieversorgung. Nachdem der scheidende Abiturjahrgang '98 in der Jahrgangsstufe 13.1 ein Netzplanmodell des Stadtteils Mülheim-Styrum erstellt hat, soll diese Unterrichtsgruppe bei Erreichen der 13.1 eine frequenz- und drehzahlstabilisierte Spannungsversorgung dieses Netzplanmodells realisieren. Die Betrachtung des kompletten Projektes sprengt allerdings den Rahmen dieser Arbeit.

Didaktische Literatur zu diesem Problemkreis findet man leider noch recht selten. Wenn man an den Einsatz von Multimedia-PC in Unterrichtssituationen denkt, liegt zunächst die Erinnerung an die programmierte Unterweisung der 60er und 70er Jahre nicht fern. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass dabei das Wissen als „durch Lehrende transportierte externe Information begriffen wird", die aus Gründen der Fairness, der Qualitätssicherung usw. dringend zu objektivieren sind. Automatisch steht damit der Prozess der Informationsvermittlung im Vordergrund. Dieser objektivistischen Sicht steht die Konzeption dieser Unterrichtsreihe und des Multimedia-Lernmoduls entgegen, die sich eindeutig an konstruktivistischen Positionen orientieren. Hierbei dient das Multimedia-Lernmodul als „cognitive tool"[159], als Werkzeug für einen Lernenden, um sich in einer Lernumgebung mit möglichst vielen Wegen und Hilfen eine Vorstellung vom Wissensgebiet zu schaffen. Hier stehen für die wissenschaftliche Beobachtung eindeutig die Prozesse der Informationssuche im Vordergrund.[160]

Vertiefende Literatur zu diesem Thema findet sich in allgemeinen Didaktik kaum. Die Diskussion wird vor allem von Mediendidaktikern getragen; ein großer Teil des theoretischen Hintergrundes stützt sich dabei auf Erkenntnisse der pädagogischen Psychologie.

5.4.4 Planung der Unterrichtsreihe

5.4.4.1 Der Kontext der Unterrichtsreihe

Das Thema des Kurshalbjahres 12.2 ist im Technikunterricht an der Willy-Brandt-Schule der „Informationsumsatz in technischen Systemen". Dies wurde bis zum Beginn der Reihe an verschiedenen Gegenständen der Digitaltechnik bearbeitet, von einfachen logischen Verknüpfungselementen über Zählerschaltungen bis zum Schieberegister. Den Übergang zum aktuellen Thema bildete eine kurze Reihe über die Wandlung analoger in digitale Signale und umgekehrt. Dabei kam schon von einem Schüler die Idee, dass man durch einen D/A Wandler mit einem Computer einen Motor steuern könnte. Der Übergang zum Themengebiet Messen, Steuern und Regeln war daher einfach zu vollziehen.

---

[159] Der Begriff "cognitive tool" wurde geprägt von Jonassen. Vgl.: Kommers, P.A.M.; Jonassen, D.H.; Mayes, J.T.: Cognitive Tools for learning. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1991.

[160] Vgl. Klimsa, P.: Multimedia aus psychologischer und didaktischer Sicht. In: Ludwig J. Issing/Paul Klimsa (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Psychologie Verlags Union, 2. Auflage 1997. Seite 16f.

Diese Unterrichtsreihe wird den Kurs in der 12.2 abschließen. In der 13.1 wird die Gruppe das Thema „Verbund technischer Systeme“ im Rahmen des Projektes „Netzplanmodell des Stadtteils Mülheim-Styrum“ bearbeiten, dass - wie oben beschrieben - über die Kraftwerksmodelle, die auch in dieser Unterrichtsreihe verwendet werden, mit einer stabilisierten Spannung versorgt werden soll, wobei die Kenntnisse und Entwicklungen dieses Kurses zur Anwendung kommen sollen.

5.4.4.2 Die Lerngruppe

Bei der Lerngruppe handelt es sich um 3 Schülerinnen und 8 Schüler eines Technik-Leistungskurses der Jahrgangsstufe 12. Das Leistungsvermögen innerhalb des Kurses ist sehr breit gestreut. Dirk und Matthias sind durch ihre Auffassungsgabe den anderen Schülern meist so weit voraus, dass sie bei Gruppenarbeitsphasen freiwillig Tutorentätigkeiten übernehmen. Dies wird von mir ausdrücklich gefördert, zumal ich mich mehrfach davon überzeugen konnte, dass die anderen Schüler dadurch nicht in den Hintergrund gedrängt werden. Insgesamt arbeiten die meisten Schüler sehr selbständig und engagiert; sie stellen viele weiterführenden Fragen, die ihr Interesse an zahlreichen Themen bekunden. Sabine und Ayhan dagegen haben in der letzten Klausur sehr schlecht abgeschnitten und sind frustriert. Ich konnte typische Symptome von Misserfolgsmotivation[161] beobachten: die beiden Schüler geben bei der Lösung von Problemen viel zu schnell auf - auch im Vergleich zu Mitschülern, die von mir als ähnlich leistungsschwach eingeschätzt werden. Sie versuchen aber auch nicht mehr aktiv, Defizite auszugleichen. Bei der Gruppenarbeit an Computern saßen beide von Anfang an in betont ungünstigem Winkel und zu großer Entfernung vom Monitor, und nahmen sich stark aus der Gruppenarbeit heraus. Anschließend rechtfertigten sie ihre schlechte Kenntnis über den Stand der Gruppenarbeit damit, sie hätten dem Arbeiten der anderen nicht folgen können, weil es ihnen zu kompliziert erschien, und sie nichts gesehen hätten.

Da es sich bei der Lerngruppe um einen Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12 handelt, strebe ich ein möglich selbständiges Arbeiten der Schüler mit einem hohen Grad an Eigenverantwortung an.

Dazu gehört:

- Dass die Schüler sich alle notwendigen fachlichen Informationen durch selbstgesteuertes Lernen aneignen. Hierzu steht ihnen das Multimedia-Lernmodul während der gesamten Kurssequenz zur freien Verfügung.

- Dass alle Ergebnissicherungen **nicht** vom Lehrer an der Tafel durchgeführt wird. Die Verschriftlichung der Stundenergebnisse soll ja von den Schülern in Form ihrer Protokolle erfolgen. Dazu sollen die Schüler gezielt das Anfertigen **ausreichender Notizen** sowohl über die aus dem Lernmodul entnommenen Informationen, über die Versuche selbst, als auch über die Unterrichtsgespräche üben.

[161] Weiner, B.: Motivationspsychologie. Weinheim: Psychologische Verlags Union 1994.

5.4.4.3 Der Schwerpunkt der Arbeit unter fachlichen Aspekten

Thema der Unterrichtsreihe ist eine Einführung in die Regelungstechnik am Beispiel der Drehzahlregelung eines Motor-Generator-Satzes.

Regelung ist definiert als „ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße) fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt.“[162]

Anstelle des Begriffes „Führungsgröße“ ist vielfach der Begriff „Sollwert“ geläufiger. Beide Begriffe sind in der DIN jedoch klar definiert: während mit „Sollwert“ ein konstanter Wert verbunden ist, der im Verlauf der Regelungsaufgabe als nicht veränderlich betrachtet werden kann, implementiert „Führungsgröße“ einen sich zeitlich ändernden Wert. Dies kann das gewünschte Temperaturprofil einer Gebäudeheizung während des Tagesablaufes sein (Nachtabsenkung eingeschlossen), oder sogar ein sinusförmiges Eingangssignal, dem die Regelstrecke zu folgen hat. „Führungsgröße“ markiert demzufolge den Oberbegriff und sollte vorrangig verwendet werden.

Aufgabe einer Unterrichtsreihe muss sein, die verschiedenen Komponenten eines Regelkreises im Sinne einer **Systemanalyse** aufzuzeigen, ihr **Verhalten** zu charakterisieren, die Bestimmungen zentraler **Begriffe** vorzunehmen und grundlegende **Effekte** zu demonstrieren, die beim Zusammenwirken der einzelnen Teile auftreten.

5.4.4.4 Systemanalyse

Die systematische Analyse der Funktionsstruktur eines Regelkreises geschieht normalerweise durch seinen Signalflussplan. Dabei werden die einzelnen Komponenten des Regelkreises, die in diesem Kontext als Übertragungsglieder bezeichnet werden, durch Funktionsblöcke symbolisiert. Wesentlich ist die Kennzeichnung der Eingangssignale und Ausgangssignale an den Funktionsblöcken. Vielfach wird zusätzlich die Übertragungsfunktion, die den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangssignal bei einem Übertragungsglied bezeichnet, in den Funktionsblock gezeichnet. Das kann in Form einer mathematischen Gleichung, zum Beispiel des Frequenzgangs oder in Form einer Übertragungskennlinie geschehen.

Die Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Systemkomponenten werden analog zum Vorgehen in der allgemeinen Technologie durch Wirkungslinien dargestellt. Ein Regelkreis ist, in Abgrenzung zu einer Steuerung, dadurch gekennzeichnet, dass diese Wirkungslinien zusammen mit den Funktionsblöcken einen geschlossenen Wirkungsweg bilden. Dabei findet eine Rückkopplung statt: Um eine der Definition einer Regelung entsprechende Angleichung der Regelgröße an die Führungsgröße zu erreichen, wirkt des Ausgangssignal eines Gliedes im schwächenden Sinne auf den Eingang eines anderen Gliedes zurück. Man

---

[162] DIN 19226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Begriffe und Benennungen. Berlin, Köln: Beuth, 1968. Seite 3.

spricht hier auch von einer Gegenkopplung, in Abgrenzung von einer Mitkopplung, bei der das Ausgangssignal im verstärkenden Sinne zurückwirkt. Unter ungünstigen Umständen kann es im Zusammenwirken der einzelnen Glieder eines Reglers dennoch zur Mitkopplung kommen, was in der Regel zu einer Instabilität des Reglers, zu Schwingungen usw. führen kann.

5.4.4.5 Begriffsbestimmungen

Die beiden wesentlichen Glieder eines Regelkreises sind die Regelstrecke und die Regeleinrichtung. Die Regelstrecke ist nach DIN „derjenige Teil des Wirkungsweges, welcher den aufgabengemäß zu beeinflussenden Bereich der Anlage darstellt.“[163] Im Gegensatz dazu bildet die Regeleinrichtung eine Ansammlung von Geräten, „die unmittelbar für die aufgabengemäße Beeinflussung der Strecke benötigt werden“. Die Aufgabe der Regeleinrichtung sind in jedem Fall das Erfassen der Regelgröße (Formelzeichen: x), der Vergleich mit der Führungsgröße (Formelzeichen: w), und das Bilden einer Stellgröße (Formelzeichen: y). Die Führungsgröße w ist in der Definition des Begriffs der Regelung definiert worden (siehe Beginn dieses Abschnittes). x und y sind die die Regeleinrichtung und die Regelstrecke verbindenden Größen. Hier ist bei der Vermittlung äußerste Umsicht geboten: x ist die Eingangsgröße der Regeleinrichtung, aber die Ausgangsgröße der Regelstrecke. Umgekehrt ist y die Ausgangsgröße der Regelstrecke, aber die Eingangsgröße der Regeleinrichtung. Dadurch wird die eben beschriebene Gegenkopplung gewährleistet.

Vielfach werden die Begriffe „Regeleinrichtung“ und „Regler“ nicht klar voneinander abgegrenzt. Als Regler darf der signifikante Teil einer kompletten Regeleinrichtung bezeichnet werden, der den Vergleicher für den Vergleich von Istwert und Führungsgröße enthält[164]. Er muss nach DIN dann aber noch mindestens ein weiteres wesentliches Bauglied, zum Beispiel einen Verstärker oder Zeitglieder, enthalten, weil man ihn ansonsten einfach als Vergleicher bezeichnen könnte.

Der Begriff der Regelgröße benötigt in unterrichtsmethodischer Hinsicht eine genauere Betrachtung. Nach DIN ist die Regelgröße „die Größe in der Regelstrecke, die zum Zwecke des Regelns erfasst und der Regeleinrichtung zugeführt wird.“[165] Im konkreten Beispiel ist das die Tachospannung des Tachogenerators, die durch den AD-Wandler des Rechners erfasst und in den von den Schülern verfassten Programmen ausgewertet wird. Die aufgabengemäß zu regelnde Größe ist jedoch die Drehzahl des Gleichstromgenerators, die mit der Tachospannung natürlich verknüpft ist.

Die DIN 19226 führt aus diesem Grund den Begriff der Aufgabengröße ein: „Die Aufgabengröße x_a ist eine Größe der Aufgabenstellung. Sie muss mit der Regelgröße

---

[163] Ebd., Seite 13.

[164] Ebd., Seite 16.

[165] Ebd., Seite 19.

wirkungsmäßig verknüpft sein, braucht aber nicht unbedingt dem Regelkreis anzugehören. Die Regelgröße ist dagegen immer eine Größe des Regelkreises.“[166]

Als Beispiel werden Fälle aufgeführt, in der die Aufgabengröße nicht direkt erfassbar ist (Zusammensetzung eines Gemisches), sondern aus verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften ermittelt werden muss.

Ein weiterer wichtiger Begriff ist die Störgröße. Als Störgrößen definiert die DIN „alle von außen wirkenden Größen, soweit sie die beabsichtigte Beeinflussung in einer Steuerung oder Regelung beeinträchtigen.“[167] Ohne Störgrößen wäre es bei stationären Prozessen nicht notwendig, Regelungen vorzusehen. Bei der Drehzahlregelung des Motor-Generator-Satzes gehen Störungen vornehmlich von Lastschwankungen am Ausgang des Generators aus.

5.4.4.6 Das Verhalten von Gliedern eines Regelkreises (open-loop-Betrachtung).

Das Zeitverhalten eines Gliedes gibt an, in welcher Weise das Ausgangssignal einem veränderlichen Eingangssignal folgt. Zur Synthese und Analyse eines Regelkreises ist es von zentraler Bedeutung, das Zeitverhalten der den Regelkreis bildenden Glieder zu kennen. Man betrachtet hierbei das „open loop“ Verhalten der Glieder, d. h. ohne Einbindung in einen Regelkreis.

Hierbei wird das Ausgangssignal y eines Gliedes in Abhängigkeit von der Zeit in einem y(t) Diagramm aufgezeichnet. Zeichnet man in das gleiche Diagramm, oder mit gleicher Skalierung unmittelbar dazu, das Eingangssignal x des Gliedes zu jeweils gleichen Zeitpunkten, so erkennt man das Übergangsverhalten des Gliedes.

Zur Bestimmung des Übergangsverhaltens verwendet man üblicherweise bestimmte Formen des Eingangssignals. Es sind dies: Flanke, Peak und Rampe. Die zugeordneten Diagramme (siehe Abbildung 81) werden als Sprungantwort (auf eine positive Flanke), Impulsantwort (auf einen Nadelpeak) und Anstiegsantwort (auf eine Rampenfunktion) bezeichnet.

---

[166] Ebd.

[167] Ebd., Seite 14.

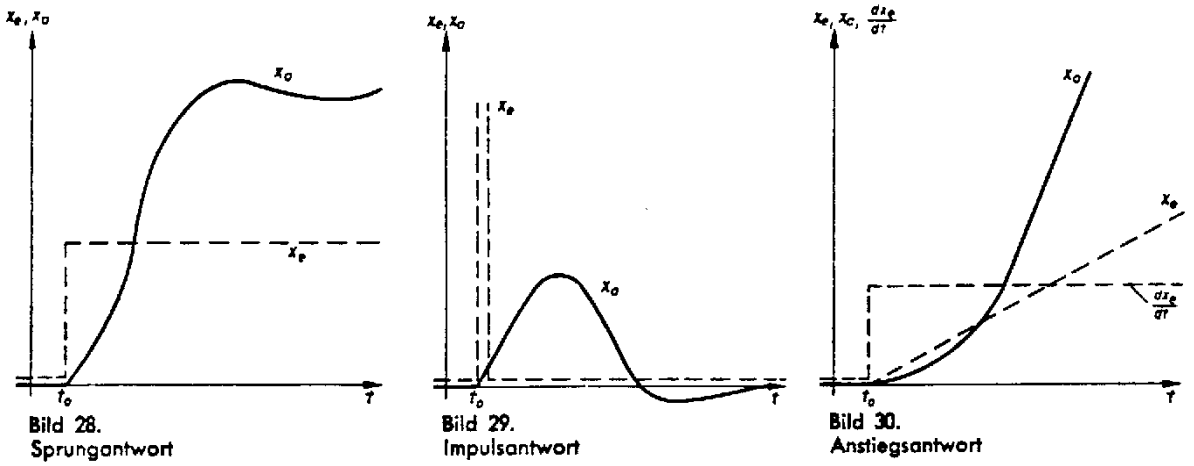


Abbildung 81: Charakteristische Übergangsvorgänge zur Kennzeichnung des Zeitverhaltens[168]

Welche Eingangssignale zur Identifizierung des Gliedes gewählt werden, hängt nicht zuletzt vom erwarteten späteren Einsatz ab. Am häufigsten findet man eine Charakterisierung durch die Sprungantwort (oder Störsprungantwort). Damit lassen sich z. B. die Verhältnisse bei einem plötzlichen Wechsel der Störgröße darstellen (siehe unten).

Bei einem P-Glied ist die Ausgangsgröße durch einen Proportionalitätsfaktor fest mit der Eingangsgröße verknüpft, bei einem I-Glied mit dem Integral der Eingangsgröße über die Zeit, bei einem D-Glied mit der 1. zeitlichen Ableitung der Eingangsgröße. Ein Totzeitglied (T_t-Glied) bildet das Eingangssignal zeitverzögert auf den Ausgang ab.

Entsprechend stellen sich die y(t) Graphen dieser Glieder nach einem Störsprung im Diagramm dar und ermöglichen eine eindeutige Kategorisierung. Natürlich können Glieder auch ein kombiniertes Verhalten zeigen (PT_t-Glieder, PD-Glieder...).

[168] Ebd., Seite 11.

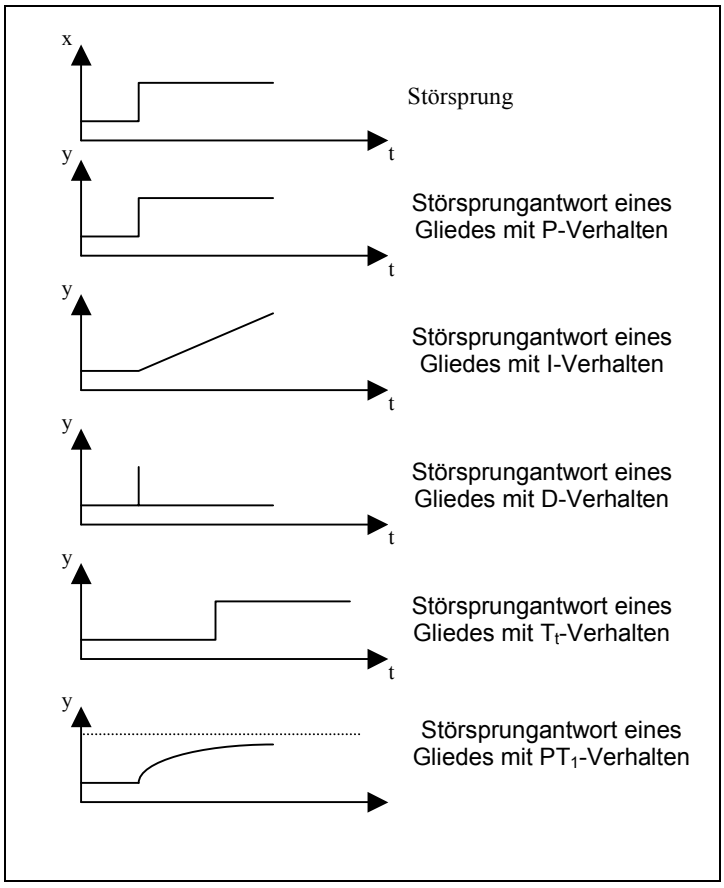


Abbildung 82: Störsprungantworten verschiedener Glieder

Von besonderer Bedeutung sind Glieder mit kombinierten PT_1-Veralten. Dieses Verhalten findet man bei vielen realen Bauelementen der Technik, beispielsweise bei RC-Gliedern (der Kondensator lädt sich durch R verzögert auf), Kombinationen von Federn und Dämpfern, und - wie im vorliegenden Fall - bei Gleichstrom-Motoren, die sich nach Erhöhung der Betriebsspannung auf eine neue Drehzahl einstellen. Bei dieser Drehzahl sind im Motor die elektrischen Größen (Betriebsspannung, induzierte Gegenspannung, Impedanz) und die mechanischen Größen (Drehmoment, Lastmoment, Reibung) miteinander im Gleichgewicht ($\Rightarrow$ P-Verhalten). Das Einstellen des Gleichgewichtes wird allerdings, vornehmlich durch die Trägheit der rotierenden Massen, verzögert ($\Rightarrow$ T-Verhalten).

Während sich unter Vernachlässigung der Masseträgheit ein typisches P-Verhalten einstellen würde, dass sich beschreiben lässt durch:

$$y = K_P \cdot x$$

Taucht das Trägheitsmoment als weiterer, zur Änderung der Stellgröße $\frac{dy}{dt}$ (entspricht beim Gleichstrommotor der Winkelbeschleunigung) proportionaler Term in der beschreibenden Gleichung auf, die damit von einer Proportional- zu einer Differentialgleichung wird:

$$T \cdot \frac{dy}{dt} + y = K_P \cdot x$$

Glieder dieser Art können also durch eine inhomogene Differentialgleichung 1. Ordnung beschrieben werden. Sie werden deshalb auch als Verzögerungsglieder 1. Ordnung bezeichnet. T ist bis jetzt nur eine noch zu bestimmende Konstante.

Zur Lösung dieser Gleichung bietet sich der Seperationsansatz an. Durch Trennung der Variablen erhält man:

$$\frac{1}{y - K_P x} dy = -\frac{1}{T} dt$$

Die Integration beider Seiten ergibt:

$$\int_0^Y \frac{1}{y - K_P x} dy = -\frac{1}{T} \int_0^t dt$$

$$\Leftrightarrow \quad \ln(Y - K_P x) - \ln(-K_P x) = -\frac{t}{T}$$

Nun lassen sich beide Seiten der Gleichung in exponentieller Form darstellen:

$$\Leftrightarrow \quad e^{\ln(Y - K_P x) - \ln(-K_P x)} = e^{-\frac{t}{T}}$$

Die linke Seite der Gleichung lässt sich durch Anwendung der Rechenregeln für Logarithmusfunktionen stark vereinfachen, und wir erhalten:

$$\Leftrightarrow \quad \frac{Y - K_P x}{-K_P x} = e^{-\frac{t}{T}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \underline{\underline{Y = K_P x (1 - e^{-\frac{t}{T}})}}$$

Ein PT_1 – Glied reagiert daher auf einen Störsprung bei t=0 mit einem Anstieg des Ausgangssignals (beginnend mit dem Anfangswert Y=0, denn $e^0 = 1$). Der Anstieg folgt dabei einer umgekehrten Exponentialfunktion ($\approx e^{-t}$).

Der Anstieg wird mit zunehmendem t schwächer und nähert sich einem Grenzwert an. Für große Zeiten $t \to \infty$ geht die Exponentialfunktion gegen 0, als Grenzwert bleibt dann $K_P \cdot x$, also ein Wert, der erwartungsgemäß proportional zur Eingangsgröße ist.

5.4.4.7 Effekte, die im geschlossenen Regelkreis auftreten können (closed-loop-Betrachtung)

Bei den Vorversuchen fiel die relativ gute Regelbarkeit der Strecke auf. Bei nicht zu hoher Last am Ausgang des Generators konnte der einfache P-Regler die Störung nach einiger Zeit bis auf eine deutliche bleibende Regelabweichung ausregeln. Auch wenn dieses Verhalten nicht ideal ist, eignet es sich doch gut dazu, die Begriffe der Ausregelzeit (Zeit, bis die Regelgröße nach Aufschaltung eines Störsprungs in wieder in einen vorgegebenen Toleranzbereich eintritt) und der bleibenden Regelabweichung zu verdeutlichen.

Viel mehr ist von einer einfachen P-Regelung an einer PT_1-Strecke auch nicht zu erwarten, da weder beim Regler noch bei der Regelstrecke ein I-Anteil zu finden ist, der die Regelgröße in endlicher Zeit auf den Sollwert führen könnte. Daher bleibt als bestimmender Faktor nur noch

die Proportionalität übrig, d.h. die Regelstrecke wird sich im Gleichgewicht immer auf eine Regelabweichung einstellen, die proportional zur aufgeschalteten Störgröße ist.

Instabilitäten können bei Verwendung von D- und I- Regelanteilen leicht auftreten. Hier wird sich wahrscheinlich gute Gelegenheit bieten, den notwendigen Kompromiss zwischen Präzision, kurzer Ausregelzeit und Stabilität darzustellen.

5.4.4.8 Strukturierung der Unterrichtsreihe und des Lernmoduls

5.4.4.8.1 Strukturprinzip

Wie schon betont wurde, soll das Multimedia-Lernmodul einzelnen Schülern oder einer Projektgruppe ermöglichen, sich im **selbstgesteuerten Lernen** für die Projektarbeit relevante Kenntnisse und Fähigkeiten anzueignen.

In der vorliegenden Reihe wird als bevorzugte Sozialform die Gruppenarbeit gewählt, unterbrochen von Gesprächsrunden zum Austausch und zur Sicherung der in der Gruppenarbeit gewonnenen Erkenntnisse.

Man kann die Konzeption dieser Unterrichtsreihe in der Terminologie von Frey als „projektartiges Lernen“ bezeichnen[169]. Die Unterrichtsreihe selbst ist für sich kein Projekt, aber Teil eines solchen (siehe hierzu die Abschnitte „Multimedia und Projektmethode“ und „Der Kontext der Unterrichtsreihe“); die Gruppen sollen auch so arbeiten, wie ich es mir bei einer vom Lernmodul unterstützten Projektarbeit vorstelle, wobei es normalerweise nicht zwingend ist, dass sich alle Gruppen parallel mit dem Lernmodul befassen.

Beim selbstgesteuerten Lernen bestimmt der Lerner in gewissen Grenzen Tempo und Vorgehensweise selbst. Dies erschwert die Einteilung der Struktur der Unterrichtsreihe in ein Stundenraster. Aus diesem Grund wurde anstatt einer Aufteilung in Unterrichtsstunden eine **Phasenstruktur** der Unterrichtsreihe gewählt. Für die Diskussion der Reihe lässt sich im Anschluss das Verhalten der Schüler während der einzelnen Phasen betrachten. Zusätzlich wurde notiert, in welchen Zeitabschnitten die Phasen von den Gruppen ungefähr bewältigt wurden.

Der Verlauf der Unterrichtsreihe ist dem Ablauf eines typischen technischen Konstruktionsprozesses angenähert. Nach Pahl und Beitz bedeutet „Konstruieren“:

„Eine Ingenieurtätigkeit, die praktisch alle Gebiete des menschlichen Lebens berührt, sich der Gesetze und Erkenntnisse der Naturwissenschaft bedient, zusätzlich auf spezielles Erfahrungswissen aufbaut und die Voraussetzung zur stofflichen Verwirklichung von Lösungsideen schafft.“[170]

---

[169] Frey, K.: Die Projektmethode - Der Weg zum bildenden Tun. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 7. Auflage 1996. Seite 15.

[170] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Berlin: Springer, 4. neubearb. Auflage 1997. Seite 1.

Nach Pahl und Beitz umfasst ein technischer Konstruktionsprozess folgende Stufen:[171]

1. Klärung der Aufgabenstellung.
2. Verständnis der notwendigen Grundlagen.
3. Suche nach Standards und existierenden Lösungen.
4. Realisierung einer eigenen Problemlösung.
5. Kostenrechnung.
6. Praktische Erprobung.

Ich habe mich dazu entschieden, sowohl in der Ablaufplanung der Unterrichtsreihe als auch bei der Strukturierung der Informationseinheiten des Multimedia-Lernmoduls diesen Stufenprozess aufzugreifen. Ich weiche an folgenden Stellen davon ab:

Kostenrechnung. Die Kostenaufstellung ist ein wesentlicher Bestandteil eines technischen Entwicklungsprozesses. Auch im Technikunterricht allgemeinbildender Schulen ist dieser Punkt relevant; schließlich wird Technik definiert als „Zielorientierte Veränderung der Umwelt (...) unter konkreten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedingungen; dabei ist es ihre Aufgabe, eine Optimierung zwischen dem technisch Machbaren, dem wirtschaftlich vertretbaren und dem gesellschaftlich Wünschbaren anzustreben.“[172] Im konkreten Beispiel bietet es sich aber nicht an, die Kostenrechnung vorwegzunehmen, da sich die Kosten nicht richtig einschätzen lassen: schließlich kostet es auf den ersten Blick nicht mehr, mit der gleichen Hard- und Software einen PID-Regler zu programmieren, als einen reinen P-Regler. Den Schülern dürfte jedoch der erhöhte Aufwand auffallen, der zur Optimierung eines PID-Reglers in Hinblick auf Regelgenauigkeit und schnelles Einregeln notwendig wird. Somit lässt sich die wirtschaftliche Optimierung besser im Nachhinein mit den Personalkosten als Schwerpunkt diskutieren.

Dokumentation. Die Erstellung der Produktdokumentation ist traditionsgemäß eine der besonders ungeliebten Pflichten eines Konstrukteurs. Trotzdem ist eine gute Produktdokumentation unabdingbar, nicht nur als Bedienungsanleitung, sondern auch, um das Arbeitsergebnis später weiterentwickeln zu können oder durch andere Entwickler nutzbar zu machen.

Auch aus diesem Grund wurde die Erstellung einer Projektdokumentation in Form von Versuchsprotokollen als Gruppenarbeit an das Ende der Unterrichtsreihe gestellt. Diese

---

[171] Pahl, G.; Beitz, W.: Engineering Design (English Edition). Berlin: Springer, 1984. Entnommen und übersetzt aus einer Adaption an das Vorgehen bei Entwicklungen in der Elektrotechnik aus: Culverhouse, P. F.; Ball, L.; Burton, C.J.: *DESMATE:* A tool for tracking engineering design in action. In: Design Studies Vol. 13 No 1, January 1992. Butterworth-Heinemann Ltd., 1992.

[172] Kultusministerium Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen: Technik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1981. Seite 28.

Protokolle dienen gleichzeitig als die wesentliche Verschriftlichung dessen, was im Verlauf der Unterrichtsreihe vermittelt wurde.

5.4.4.8.2 Klärung der Aufgabenstellung

Lernziele

Die Schüler sollen:

Mit den Zielen und Aufgaben der Unterrichtsreihe vertraut sein.

Dazu sollen sie:

- Mit den zu verwendenden Geräten bekannt sein.
- Wissen, dass sie mit Einsatz von Computern eine technische Lösung entwickeln sollen, die unter wechselnden Lasten die Drehzahl eines Motor-Generator-Satzes möglichst konstant halten soll.
- Die Unterrichtsreihe in den Kontext dessen, was bisher thematisiert wurde, und was in der Jahrgangsstufe 13.1 folgen wird, einordnen können.
- Die Klausurrelevanz der Unterrichtsreihe einschätzen können.
- Sich in Arbeitsgruppen organisieren.

Unterstützung durch das Lernmodul

Das Lernmodul stellt auf einer einführenden Karte das Ziel der Gruppenarbeit dar.

5.4.4.8.3 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik

Lernziele

Die Schüler sollen:

Die grundlegende Funktionsweise der elektrotechnischen Anlagen verstehen, die in den praktischen Versuchen eingesetzt werden.

Dazu sollen sie:

- Die Lorentzkraft als das physikalische Wirkprinzip kennen lernen, auf dem sowohl die Funktionsweise eines Generators als auch die Funktionsweise eines Elektromotors beruht.
- Die Wirkung eines Magnetfeldes auf eine sich bewegende elektrische Ladung beschreiben können.
- Das Maß der Ablenkung der Ladungen von der geradlinigen Bewegung mit der Stärke des Magnetfeldes in Verbindung bringen können.

- Den prinzipiellen Aufbau eines Gleichstrom-Motors beschreiben können.
- Den prinzipiellen Aufbau eines Gleichstrom-Generatos beschreiben können.
- Die Wirkung des durch die Feldwicklungen erzeugten Magnetfeldes auf die in den Ankerwicklungen frei beweglichen Elektronen - am modellhaften Beispiel einer Leiterschlaufe zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten - diskutieren können.
- Damit sowohl die Funktionsweise eines Generators als auch die Funktionsweise eines Elektromotors in Worten wiedergeben und an einer 3D-Computeranimation beschreiben können
- Die Wirkung des Kommutators benennen und seine Funktionsweise mit Hilfe der 3D-Computeranimation beschreiben können.

Unterstützung durch das Lernmodul

Das Lernmodul unterstützt die Schüler in dieser Phase

1. Durch Texte und 3D-Computeranimationen auf den Hyperkarten **Lorentzkraft**, **Motor** und **Generator** im Teilgebiet Elektrotechnik des Navigationsbaums.
2. Durch Leitfragen, die nach dem Wahrnehmen der Informationsdarbietung oder währenddessen bearbeitet werden können. Die Leitfragen finden sich im Menü „Leitfragen“ unter dem Titel „Motor/Generator“. Sie haben hier die Form eines Lückentextes.

5.4.4.8.4 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik

Lernziele

Die Schüler sollen:

sich systematisch, das heißt mit Mitteln der allgemeinen Technologie, an Probleme der Regelungstechnik annähern, diese Probleme zielgerichtet bearbeiten und gefundene Lösungen optimieren können.

Dazu sollen sie:

- Den prinzipiellen Aufbau eines Regelkreises beschreiben können.
- Die Begriffe Regelkreis, Regelstrecke, Regler, Messgeber, Messgröße, Regelgröße, Führungsgröße, Stellgröße, Regelabweichung, Kenngröße nennen, ihre Bedeutung wiedergeben und an einer beliebigen Regelstrecke korrekt zuordnen können.
- Das charakteristische Verhalten von I-Strecken und PT_1-Strecken kennen lernen.
- Das charakteristische Verhalten und die Kenngleichung von I-Reglern, P- und D-Reglern kennen lernen.

Unterstützung durch das Lernmodul

Das Lernmodul unterstützt die Schüler in dieser Phase:

1. Durch informierende Texte und Diagramme zum Aufbau von Regelkreisen und zur Bezeichnung der relevanten Größen.

2. Durch anschauliche bewegte Darstellungen des Verhaltens von beispielhaften PT_1 - und I-Strecken.

3. Durch korrespondierendes Plotten von Störsprung und Störsprungantwort in x(t)- und y(t)-Diagrammen.

4. Durch interaktive Versuche mit funktionsfähigen P-, I- und D-Reglern, wobei die von den Schülern eingegebenen Regelabweichungen direkt und sichtbar in die entsprechenden Kenngleichungen eingesetzt und die Reaktion des Reglers in y(t)-Diagrammen dargestellt werden.

5. Durch Leitfragen, die nach dem Wahrnehmen der Informationsdarbietung oder währenddessen bearbeitet werden können. Die Leitfragen finden sich im Menü „Leitfragen“ unter dem Titel „Regelkreis“. Hier haben die Schüler die Aufgabe, symbolische Darstellungen von Motor, Steuerungs-PC und Tachogenerator per Drag & Drop so zu arrangieren, dass die korrekte Struktur des bei den weiteren Versuchen zu realisierenden Regelkreises sichtbar wird. Darüber hinaus ist die Darstellung mit korrekten Begriffen zu versehen, die aus Listen mit alternativen Begriffen zu wählen sind.

5.4.4.8.5 Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen

Lernziele

Die Schüler sollen:

Die mess- und steuerungstechnischen Probleme bei der Integration einer gegebenen Regelstrecke in eine computergestützte Regelung lösen können.

Dazu sollen sie:

- An einer gegebenen Regelstrecke (hier: ein Motor-Generator-Satz) mögliche Schnittstellen zur Erfassung der Messgröße identifizieren.

- Den funktionellen Zusammenhang zwischen der Messgröße (hier: Tachospannnung) und der Regelgröße (hier: Drehzahl von Motor und Generator) beschreiben und für die Erfassung der Regelgröße nutzen können.

- Die Notwendigkeit einer Leistungsverstärkung für die Steuerung des Gleichstrommotors mittels des D/A Wandlers begründen können.

- Eine Leistungsverstärkung des Ausgangssignals des D/A Wandlers mit Komponenten des ESTU-Systems realisieren können.

- Durch Messung der Störsprungantwort mit einfachen Messgeräten eine Einstufung der Regelstrecke nach P-, PT_1- oder I-Verhalten treffen.

Unterstützung durch das Lernmodul

Das Lernmodul unterstützt die Schüler in dieser Phase:

1. Durch Diagramme, Texte und bewegte Darstellungen zur Transistortechnik. Beim Entwurf wurde davon ausgegangen, dass die Schüler schon über Grundlagen der Transistortechnik verfügen, wie sie im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 8 vermittelt werden, und dass diese Kenntnisse lediglich aufgefrischt werden müssen. Das Lernmodul bietet grundlegende Informationen über Schaltungen mit Transistoren, ein interaktives Diagramm zur Spannungsverteilung im Kollektor-Emitter-Kreis bei einer Reihenschaltung mit (konstantem) Lastwiderstand und Informationen zur Lage der Anschlüsse beim konkret verwendeten Transistortyp PTY55 auf der ESTU-Platine 1505.

2. Durch einen Text mit Skizze und bewegter Darstellung, die die Lage der Anschlüsse bei der von mir gefertigten Interfacekarte zum DA/AD Wandler RTX-03A der Firma Conrad Electronic darstellen.

5.4.4.8.6 Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen

Lernziele

Die mess- und steuerungstechnischen Probleme bei der Ansteuerung einer gegebenen Regelstrecke mit AD/DA Wandlerkarten durch den Einsatz höherer Programmiersprachen lösen können.

Dazu sollen sie:

- Externe Objekte, die die Funktionen der AD/DA-Wandler-Karte in der Programmierumgebung zur Verfügung stellen, in ihr Softwareprojekt einbinden.

- Die Objektschnittstellen zielgerichtet einsetzen können.

- Ihrem Projekt Benutzersteuerelemente hinzufügen, mit denen die Steuerung des Gleichstrom-Motors zur Laufzeit, also zum Beispiel durch Schieberegler, erfolgen kann.

- Eine Zeitsteuerung entwickeln, die in regelmäßigen Abständen Messwerte vom Eingang 1 des AD-Wandlers erfasst und auf dem Bildschirm darstellt.

Unterstützung durch das Lernmodul

Das Lernmodul unterstützt die Schüler in dieser Phase:

1. Durch Darstellungen der grafischen Repräsentationen der Objekte und Steuerelemente, die für das Projekt benutzt werden sollten

2. Durch ausführlichen beschreibenden Text mit Programmbeispielen zum Herauskopieren über die Zwischenablage.

3. Durch einen Assistenten, das sogenannte „Helferlein“. Dieses Objekt setzt sich bei Integration in ein Softwareprojekt in die Kommunikation zwischen dem Programm der Schüler und dem AD/DA-Wandler. Es stellt die ausgetauschten Werte so dar, wie sie tatsächlich vom AD/DA Wandler gesendet und empfangen werden. Die Schüler können so überprüfen, ob ihr Programm die richtigen Werte von den Schiebereglern (und später von den P-, I-, D-Reglern) übermittelt, und die gemessenen Werte von ihrem Programm korrekt angezeigt werden. Weiterhin werden alle Werte vom „Helferlein“ auf Gültigkeit überprüft; zu hohe oder negative Werte werden ebenso abgefangen wie ein zu häufiges Abfragen (etwa bei Verzicht auf eine Verzögerung zwischen den Abfragen), das den internen Puffer des TCP/IP Stack zum Überlauf bringen kann. Alle abgefangenen Werte werden lediglich in den gültigen Bereich hinein korrigiert („Sättigung“), wobei eine ausführliche Meldung mit Hinweisen zur Problembehebung erfolgt. Das Programm der Schüler läuft dabei weiter. Auf diese Weise will ich vor allem die Frustrationsmomente beim „Absturz“ der von den Schülern geschriebenen Programme vermeiden, vor allem aus der Erfahrung heraus, dass Schüler erst am Ende der Stunde zum ersten Mal zum Speichern ihrer Programme neigen.

5.4.4.8.7 Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen

Ein wichtiges Ziel des Technikunterrichts ist die Schüler in die Lage zu versetzen aus einer Reihe von gegebenen Möglichkeiten die für das gegebene Einsatzziel geeignete Lösung auszuwählen und zu optimieren.

5.4.4.8.8 Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation

Ein weiteres Ziel des Technikunterrichtes ist, die Schüler in die Lage zu versetzten, begründete Entscheidungen für eine Lösung zu treffen und (z. B. einem Kunden oder Auftraggeber gegenüber) entsprechend zu dokumentieren.

5.4.4.8.9 Die Rolle der Gesprächsrunden am Ende von Gruppenarbeitsphasen.

Karl Frey nennt in seinem Buch „Die Projektmethode“ ein typisches Merkmal für Lernen nach der Projektmethode:[173]

„Die Teilnehmer an einem Projekt informieren sich gegenseitig in gewissen Abständen. Die gegenseitige Information bezieht sich auf Aktivitäten, Arbeitsbedingungen und eventuell auf -ergebnisse.“

Auch wenn die Unterrichtsreihe kein echtes Projekt im Sinne der Definition bei Frey darstellt, möchte ich dennoch dieses Merkmal projektartigen Lernens nutzen. Das Arbeitsergebnis der

[173] Frey 1996. Seite 16.

Unterrichtsreihe sollen ausführliche Protokolle der 3 Arbeitsgruppen über alle 6 Versuche sein.

Bestandteil der Protokolle soll eine Darstellung des theoretischen Hintergrundes sein. Die Schüler wurden in der ersten Stunde der Reihe über diese Anforderung informiert; es war allerdings zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, weitergehende Fragen zu klären, da die Schüler ja mit den Versuchen noch nicht vertraut waren.

Aus diesem Grund wurde die Gruppenarbeit durch regelmäßige Gesprächsrunden im Plenum zu unterbrochen.

Diese Gesprächsrunden dienen:

1. Dem Erfahrungsaustausch der Gruppen.
2. Der Rückmeldung zum Lehrer über die Qualität der einzelnen Medien.
3. Dem Abgleich des Wissenstandes der einzelnen Gruppen.
4. Der Suche nach einem Konsens über die für das Protokoll relevanten Erkenntnisse.
5. Der Klärung von Fragen der Schüler zu meinen Anforderungen an die Protokolle in Bezug auf den konkret durchgeführten Versuch.

5.4.5 Durchführung der Unterrichtsreihe

5.4.5.1 Einstieg und Klärung der Aufgabenstellung

1. Stunde

Die Unterrichtsreihe begann mit einem kurzen Rundgang durch den Kursraum, wobei den Schülern die Geräte gezeigt wurden, mit denen sie die nächsten Stunden arbeiten sollen. Die meisten Geräte sind ihnen vom Sehen bekannt - ein Motor-Generator-Satz stand seit längerem für meine persönliche Vorbereitung auf dem Tisch bei den Rechnern, und wurde schon mehrfach von den Schülern interessiert begutachtet. Mit weiteren wichtigen Geräten, wie Netzteil, Multimeter und ESTU-System, und den Visual Basic PC haben die Schüler schon gearbeitet. Dennoch wurden ihnen die Standorte aller sinnvoll verwendbaren Geräte noch einmal vor Augen führen. Im Anschluss daran, zurück im Plenum, wurde das Blatt „Hinweise zur Erstellung der Versuchsprotokolle“ (siehe Anlage) ausgeteilt. Eine zusätzlich aufgelegte Folie diente im folgenden dazu, den jeweils aktuellen Diskussionspunkt zu markieren.

Dabei wurde folgendes betont:

- Das Erstellen der Protokolle ist ein wesentlicher Teil der Arbeit in der folgenden Unterrichtsreihe und das eigentliche Arbeitsergebnis der einzelnen Gruppen. Demzufolge wird der Qualität der Protokolle ein hohes Gewicht bei der Bewertung der Gruppenleistung eingeräumt.

- Die Protokolle sind die wesentliche Verschriftlichung dessen, was während der Unterrichtsreihe an Kenntnissen vermittelt und an Erkenntnissen gefunden wurde. Insbesondere sind sie das wesentliche Hilfsmittel zur Vorbereitung der Klausuren. Demzufolge muss auf Vollständigkeit der Informationen und auf korrekt verwendete Fachbegriffe geachtet werden.

- Die Protokolle als Arbeitsergebnis sind kein Selbstzweck, sondern werden im weiteren Verlauf des Kurses dringend benötigt. In der Jahrgangsstufe 13.1 sollen die Schüler in der Lage sein, mit Hilfe ihrer in eben diesen Protokollen festgehaltenen Erfahrungen in sehr kurzer Zeit einen drehzahlstabilisierten Generatorprüfstand aufzubauen. Darauf aufbauen sollen sie später ein Netzplanmodel von Mülheim-Styrum lastunabhängig frequenz- und spannungsstabil mit elektrischer Energie versorgen.

- Das Anfertigen der Protokolle ist Teil der Gruppenarbeit und soll daher auch in den Gruppen während der Unterrichtszeit erfolgen. Dabei sollen sich die Gruppen koordinieren können, so dass die Gruppen individuelle Schwerpunkte ihrer Arbeit betonen können. Während der gesamten Laufzeit der Unterrichtsreihe, also auch beim Fertigen der Protokolle, steht den Schülern das Lernmodul zum Nachschlagen zur Verfügung.

In der Diskussion wurde deutlich, dass die Schüler bis zu diesem Punkt keine Fragen zur Aufgabenstellung haben; die Anforderungen erscheinen ihnen klar, soweit sie das bis dahin beurteilen konnten. Dies wurde aber gleichzeitig - verständlicherweise - als großer Kritikpunkt geäußert: Die Schüler fühlten sich sehr ungewiss dessen, was auf sie zukommt. Inwieweit sie die an sie gestellten Anforderungen überhaupt erfüllen können, muss ihnen noch völlig unklar erscheinen. Mit den im ersten Teil des Informationsblatt genannten Titeln der 6 Versuche, die sie durchführen sollen, können sie bei ihrem derzeitigen Kenntnisstand definitiv noch nichts anfangen.

Das einzige, was die Schüler bereits einschätzen können, ist, dass die vor ihnen liegende Unterrichtsreihe für sie persönlich arbeitsintensiv wird. Dies, verbunden mit der oben genannten Ungewissheit, erzeugt in ihnen ein entsprechendes Maß an Skepsis. Diese Skepsis wird von den Schülern Sabine, Ayhan und Markus auch umgehend geäußert.

Sie wurden allerdings - bemerkenswerterweise von ihren Mitschülern, hier vor allem von den Leistungsträgern Matthias und Dirk - etwas damit beruhigt, dass sie ja die genannten Begriffe noch gar nicht kennen können, und die Begriffe und Probleme erst während der Versuchsreihe kennen lernen werden.

Zu ihrem ersten Eindruck von der vor ihnen liegenden Unterrichtsreihe gezielt befragt, äußerten fast alle Schüler vor allem echte Neugier auf das, was auf sie zukommt. Dies gilt nicht nur für die echten Leistungsträger, auch die Schüler des Mittelfelds, beispielsweise Patricia, äußerten sich gezielt in diese Richtung. Die Leistungsträger wirkten allerdings besonders gespannt auf die noch unbekannten Problemstellungen und wirkten insgesamt sehr angetan von der Aussicht, diese unter Zuhilfenahme der Computer lösen zu können.

Die Schüler wurden ebenfalls nach ihrer Einstellung zu den Protokollen befragt. Wie sich zeigte, sahen alle befragten Schüler durchaus den Sinn der Protokolle.

Die Schüler entschieden, 2 Gruppen mit 4 Personen und eine Gruppe mit 3 Personen zu bilden. Dies wurde von den Schülern als Optimum angesehen zwischen

- der für die Protokolle aufzuwendenden Arbeit und
- dem noch bequem machbaren Arbeiten vor dem Bildschirm mit der Gruppe.

5.4.5.2 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik

2.-3. Stunde

Den Schülern wurde sofort zu Stundenbeginn die Anweisung gegeben, sich in den Gruppen zusammenzufinden, das Lernprogramm zu starten und sich unter einem von ihnen erdachten eindeutigen Gruppen-Namen in das Lernprogramm einzuloggen. Die Schüler verteilten sich entsprechend auf die Rechner. Sabine und Ayhan, die beiden misserfolgsmotivierten Schüler, verteilten sich auf verschiedene Gruppen. Ayhan und Stefan haben sich in eine Gruppe mit den Leistungsträgern Dirk und Matthias zusammengefunden, die bereits in die Aufgabenstellung vertieft waren und darüber debattierten, inwieweit diese Aufgabenstellung wohl in Bezug zu dem Experimentiermaterial steht. Die Gruppe hat sich selbst den Gruppen-Namen „Elite“ gegeben.

Sabine hatte in ihrer Gruppe direkt die Funktion der Protokollantin übernommen, und zwar offensichtlich freiwillig. Mit in der Gruppe befand sich die als ruhig und aufmerksam bekannte Patricia und die beiden guten Schüler Thomas und Patrick; Thomas hat die Gruppe unter dem Namen „Platoon“ in das System eingewählt. Diese Gruppe hat noch nicht von sich aus damit begonnen, das Lernprogramm zu erkunden, sondern saß ruhig am Bildschirmarbeitsplatz und wartete auf weitere Anweisungen. Dieser Verhaltensunterschied zur Gruppe „Elite“ sollte sich als typisch erweisen und den weiteren Verlauf der Unterrichtsreihe in Bezug auf

- Ausmaß der Lehrerbetreuung,
- Gruppenprozesse sowie
- Grad des selbstständigen Arbeitens

nachhaltig bestimmen.

Die dritte Gruppe, bestehend aus York, Matthias und Nurgul, hat sich selbst interessanterweise den Gruppen-Namen „Schlecht“ gegeben. Vom Verhalten in Unterrichtsgesprächen konnten von York und Matthias gute mündliche Mitarbeit bei befriedigender Beitragsqualität erwartet werden, während die türkische Schülerin Nurgul bei Programmierübungen sehr guten Überblick bewies. Diese Gruppe hatte der Aufgabenstellung nur kurze Beachtung geschenkt und blätterte bereits im Leitfragenkatalog.

Die Zugriffe der Schüler auf das Informationsangebot werden in Verbindung mit Gruppen-Name, Uhrzeit und Betrachtungsdauer in einer SQL-Datenbank gespeichert; siehe hierzu die Diagramme im Abschnitt „Analyse der Zugriffs-Statistiken“. Eine Analyse der Zugriffe für diesen Abschnitt zeigt bei allen Gruppen ein sehr ähnliches Bild. Die Gruppen arbeiten sich

der Reihe nach langsam durch die Karten des Informationsangebotes und verbringen mit jeder Karte in etwa gleich viel Zeit. Dabei variiert die Geschwindigkeit von Gruppe zu Gruppe erheblich, wie aus der Steigung des Graphen im Zugriffsdiagramm unmittelbar deutlich wird; die Gruppe „Elite“ bewältigte die gesamte Phase zur Vermittlung in fast der Hälfte der Zeit der Gruppe „Schlecht“. Trotz bekundetem Interesse an den Grundlagen war bei dieser Gruppe der Wunsch überwiegend, möglichst schnell zu praktischen Versuchen mit den Geräten zu kommen, was ja damit auch gelungen ist.

Für den Betrachter im Klassenzimmer herrschte das Bild eines sehr ruhigen und konzentrierten Arbeitens mit den Medien. Die Animationen wurden von den Schülern mehrfach eingehend betrachtet, wobei sie bei den folgenden Durchläufen zunehmend versuchten, die Kommentare neben den Animationen mit den dargestellten Elementen in Beziehung zu setzen. Dies geschah durch Zeigen und durch leise Kommentare „*jetzt* kommt die Ablenkung...“.

Der Beobachtung nach widmeten sich alle Gruppen vor allem den Animationen mit ihren begleitenden Kommentaren. Die Begleittexte, die den Interessierten ergänzende und vertiefende Informationen zum Beispiel zur vektoriellen Berechnung der Lorentzkraft anboten, wurden zwar wahrgenommen, aber auch nach Aussage der Schüler nicht zu Ende gelesen. Dies betrifft aber ausschließlich die längeren Texte, die über einen Rollbalken zum Weiterblättern verfügen. Dieses Phänomen ist von Informationsangeboten im WWW bekannt und gut abgesichert; nur in 10 % aller Fälle etwa werden Rollbalken auf Internetseiten zum Weiterblättern benutzt. Dies lässt sich vor dem Hintergrund verstehen, dass das Lesen von Texten von Computerbildschirmen deutlich schwerer ist als von Papier. Hier wäre es alternativ sinnvoll gewesen, ergänzende Informationen in Papierform zur Verfügung zu stellen.

In der Gruppe „Platoon“ zeigte sich Sabine unter dem „Schock des ersten Eindruckes“, als sie Verkündete, dass sie „das nicht alles Verstehen“ werde. Ihr Hauptproblem ist dabei aber nicht der Anspruch, sondern die schiere Menge an Information, die ja gerade durch die karteikastenartige Anordnung im Lernmodul bereits abschätzbar wird.

Fortgeschrittene Lernprogramme blenden aus genau diesem Grund die Teile des Informationsangebotes aus, die zu Beginn auf keinen Fall für den Lernprozess relevant werden können. Hier wären dies die für höhere Stufen des Konstruktionsprozesses notwendigen Informationen, etwa zur Programmiertechnik und zu konkreten Fragen der Hardware.

Aus folgenden Gründen wurde gegen dieses Design entschieden:

- Es tritt in realen Lernsituationen häufig ein, dass aus einem Überangebot von Informationen aus Literatur, Internet oder anderen Medien relevante Information gefiltert werden muss.

- Das Untersuchungsinteresse liegt eben darin, in einer kontrollierten Situation (persönlich bekannte Schüler, definiertes, eingegrenztes Informationsangebot, detailliertes Protokoll über die Mediennutzung) die Lernstrategien und -probleme beim Umgang mit einem etwas umfassenderen mehrgliedrigen Informationsangebot zu studieren, um gewonnene Erkenntnisse auf schwerer beherrschbare Lernsituationen wie zum Beispiel „Lernen im Internet“ zu übertragen.

Durch ein kurzes Gespräch konnte Sabine dazu motiviert werden, sich wieder dem Informationsangebot zuzuwenden. Wichtig war für sie zu hören, dass die enthaltenen Informationen primär für die Gruppenarbeit notwendig sind und jederzeit nachgeschlagen werden können. So musste sie daran erinnert werden, dass die Inhalte der Klausur auf den Ergebnissen der Gruppenarbeit - ersichtlich an der Verschriftlichung - beruhen, und nicht einfach dem Lernmodul entnommen werden.

5.4.5.3 Vermittlung notwendiger Grundlagen der Regelungstechnik

Es fiel auf, dass alle Schüler der einzelnen Gruppen die kurzen Texte dieses Informationsteils wesentlich aufmerksamer lasen. Dies manifestiert sich auch in der hohen Verweilzeit bei den entsprechenden Hyperkarten. Seinen Grund hat dies offenbar bei den Erfahrungen, die die Schüler bei der Bearbeitung der Leitfragen zum Teilgebiet Elektrotechnik gemacht haben. Bei der Diskussion der Gruppenmitglieder untereinander über die Informationen auf der Hyperkarte hörte man wörtlich den Satz: „Guck mal, das kommt bestimmt gleich als Frage!“. Die Schüler haben dort offenbar schon aus der Betonung innerhalb des Textes wahrgenommen, welche Passagen besonders relevant sind.

Die Schüler gingen sehr effizient und engagiert an die Bearbeitung des Fragenkataloges. Auch hier wurden aber die längeren Texte offenbar nicht zu Ende gelesen; bei der Gruppe „Platoon“ resultierte dies in zwei Fehlern bei der Bearbeitung des Lernmoduls. Nachdem die Hilfe des Lehrers angefordert wurde, stellte sich die Vorkenntnis von Patricia als „Fehlerquelle“ heraus: aus dem Biologieunterricht kannte sie bereits den Begriff des Sollwertes. Im Verlauf der Unterrichtsreihe soll jedoch der Begriff der - zeitlich änderbaren - Führungsgröße gebraucht werden, da bei den praktischen Versuchen verschiedene Sollwerte über Schieberegler vorgegeben werden können.

Das Lernmodul hatte schon von sich aus den Hinweis gegeben, den längeren Text der entsprechenden Informationskarte nochmals genau zu lesen. Dieser Hinweis wurde nachdrücklich verstärkt. Die Schüler glaubten dem Lehrer offenbar mehr als dem Lernprogramm alleine, und machten sich mit sichtbarem Ehrgeiz daran, anhand des Textes die Leitfragen noch einmal zu bearbeiten. Als sie danach tatsächlich 100 % der Punktzahl erreichten, gaben sie sich zufrieden.

Bei der Darstellung der Reglertypen hatte eine Gruppe Schwierigkeiten zu erkennen, welches der übereinanderstehenden Koordinatensysteme die Regelabweichung und welches die Reaktion des Reglers darstellte. Bei etwas genauerem Hinsehen wäre die Frage überflüssig gewesen, da dies auf der Informationskarte beschriftet war.

Das einzige Verständnisproblem im Zusammenhang mit P-Reglern trat bei Sabine auf, die nicht verstehen konnte, warum die Regelabweichung negativ und die Reaktion des Reglers dementsprechend entgegenläufig ist. Hier war kein Eingriff von Lehrerseite notwendig, Patrick und Thomas konnten nach kurzem Studium der Information direkt eine fundierte Erläuterung mit einem anderen Beispiel bringen: „Stell dir vor, du wolltest einen Herd auf einer bestimmten Temperatur halten - wenn er zuviel Temperatur hat, muss er weniger Strom kriegen, richtig?“

Etwas häufiger traten Verständnisprobleme im Zusammenhang mit I- und D-Reglern auf. Bei der Darstellung der I-Regler wurde ich gebeten, den Zusammenhang zwischen der Stellgröße und der Fläche unterhalb der Kurve („welcher Fläche?“) noch einmal darzustellen, was anhand der bewegten Grafiken im Lernmodul schnell und problemlos gelang. Die weiteren Fragen betrafen nicht das Grundprinzip des Verhaltens, den Sinn der diversen Reglertypen, denn der P-Regler alleine erschien den Schülern schon völlig auszureichen. Diese Fragen stellten allerdings einen Vorausgriff dar und sollten erst am praktischen Beispiel geklärt werden.

Wirklich auffällig war das große, fast schon verbissene Engagement der Schüler, die an diesem Tag das Zeichen zur 5-Minuten-Pause einfach überhört hatten (was ziemlich selten vorkommt).

Nachdem sichtbar war, dass alle Gruppen die Erarbeitung der Grundlagen abgeschlossen hatten - die Gruppe „Elite“ war schon in die Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen vertieft - nutzte ich die letzten 10 Minuten der Doppelstunde für eine Diskussion, die vor allem mir ein Feedback liefern sollte.

Ich stellte den Schülern die Frage, welche der Darstellungen ihnen besonders informativ und verständlich erschienen, und mit welchen Teilen sie besondere Probleme hatten.

- Sehr gut haben den Schülern die Filme gefallen; die Schüler hatten den Eindruck, dass die Filme außergewöhnlich viel Information transportieren würden. Dafür sei der Schnitt ein wenig hektisch.

- Es sei sehr schwierig, von den Fragen auf die richtigen Stellen im Text zu schließen.

- Es war noch nicht deutlich, wozu die dargestellten Gleichungen der Regler dienen sollten. Nicht jeder hat wahrgenommen, dass die Werte über die Schieberegler in die Gleichung „eingesetzt“ wurden.

- Die Analogien wurden auf breiter Front gelobt. Die Beispiele wurden als „große Hilfe“ bezeichnet, und waren für die Schüler offenbar der wesentliche Schlüssel zum Verständnis der Vorgänge.

5.4.5.4 Realisierung der hardwareseitigen Voraussetzungen

3.-4. Stunde, bei einigen Gruppen noch 5. Stunde.

Die Gruppen starteten beim Betreten des Unterrichtsraumes selbstständig die Bildschirmgeräte und begannen mit der Arbeit an diesem Kapitel. Beim Zeichen zum Stundenbeginn waren bereits alle Gruppen mit der Aufgabe beschäftigt, unter Zuhilfenahme der Informationen aus dem Lernmodul den Motor-Generator-Satz in Betrieb zu nehmen. Eingriffe von meiner Seite waren zunächst nicht nötig; wie sich aber zeigte, bezogen alle 3 Gruppen ihre Messgröße - die Tachospannung - nicht, wie von mir vorgesehen, aus dem aus dem Ausgang des Tachogenerators. Statt dessen schlossen sie, nach gründlicher Prüfung mit Multimetern, den Messeingang an den Gleichstrom-Ausgang der Erregermaschine an. Dies ist

unkritisch, da die Spannung der Erregermaschine unterhalb der maximalen 8.5V Eingangsspannung bleibt.

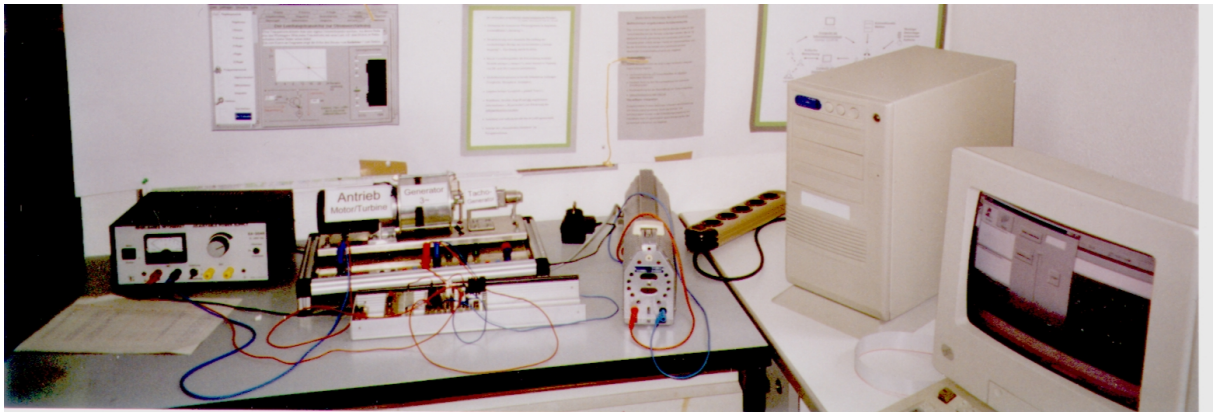


Abbildung 83: Typischer Schüleraufbau. Auf dem Bildschirm bereits die von der Gruppe „Schlecht“ entwickelte Steuerungssoftware.

Da es sich in beiden Fällen um einfache Gleichstromgeneratoren handelt, ist der funktionelle Zusammenhang der gleiche. Didaktische Bedenken bestehen gegen diese Vorgehensweise der Schüler daher nicht.

Ausschlaggebend für die Entscheidung, diese Idee der Schüler zu unterstützen, sind die folgenden von den Schülern gemachten Beobachtungen:

- Die Tachospannung am Ausgang der Erregermaschine beträgt bei gleicher Drehzahl etwa das 4-fache der Spannung am Tachogenerator.
- Die Auflösung ist bei der Drehzahlmessung über die Erregermaschine wesentlich besser.

Bei der Drehzahlmessung über den Tachogenerator werden bei den meisten Motor-Generator-Sätzen periodische Schwankungen der Tachospannung bei gleichbleibender Drehzahl des Generators auffällig. Diese lassen sich eventuell durch verschlissene Schleifkohlen erklären. Bei der Drehzahlmessung über die Erregermaschine fehlen diese Schwankungen, das Signal erscheint bei Auftragung über der Zeit stabil.

Probleme können bei einer späteren Nutzung der Drehzahlregelung für einen Generatorprüfstand dann entstehen, wenn mit Eigenerregung gefahren wird. Der Ausgang der Erregermaschine wird sich dann kaum noch als Messgeber eignen, weil die wechselnde Impedanz des mit angeschlossenen Generators für unkalkulierbare Effekte sorgen dürfte.

Beim - durchaus häufigeren - Arbeiten mit Fremderregung, wie auch während dieser Unterrichtsreihe, stellen sich diese Probleme nicht.

Für Versuche mit Eigenerregung wird sich sicherlich eine Lösung gefunden (wie die Reparatur der Tachogeneratoren mit anschließender Umskalierung des Verhältnisses zwischen Mess- und Regelgröße). Das grundsätzliche Funktionsprinzip ist den Schülern in jedem Fall klar, wovon ich mich bei Gesprächen mit den Gruppen überzeugen konnte.

Zur Realisierung der Leistungsverstärkung benutzten die Gruppen zunächst die auf der Karte „Transistor“ gegebenen Informationen. Diese sind zwar zur Lösung des Problems ausreichend, aber sehr komprimiert gehalten, da ich bei der Planung davon ausgegangen war, dass die Schüler mit den Grundlagen der Transistortechnik - wenigstens, aus der Jahrgangsstufe 8, mit der Beschaltung - vertraut sind. Wie sich heraus stellte, war die Vorkenntnis der Schüler in dieser Hinsicht jedoch gleich Null. Dennoch gelangten die Gruppen zu einer fast korrekten Schaltung; es fehlte lediglich ein geschlossener Basiskreis. Dieser ist im Schaltplan auf der Karte „Transistor“ eingezeichnet, wurde von den Schülern aber nicht erkannt.

Nachdem ich bei allen Gruppen eine Verbindung vom Emitter des Leistungstransistors zum 0V-Potential der ESTU-Karte gelegt habe, ließen sich die Motoren sofort über die Transistoren steuern. Die Schüler der einzelnen Gruppen konnten anschließend auf dem Schaltplan im Lernmodul bezeichnen, welche Verbindung von mir hinzugefügt wurde. Warum diese Verbindung notwendig ist, konnten sie darüber hinaus aber nicht erklären.

Ich habe das Problem daher in der Gesprächsrunde am Abschluss dieser Doppelstunde zur Sprache kommen lassen. Die Schüler waren problemlos in der Lage, den von ihnen vorher gewählten Entwurf und den Entwurf mit meiner Änderung an der Tafel zu skizzieren und zu vergleichen. Etwas zögerlich kam dann die Erkenntnis, dass die im Lernmodul gezeichnete Verbindung zurück zum Nullpotential des D/A-Wandlers tatsächlich notwendig ist, um zu einem geschlossenen Basiskreis zu kommen.

Im folgenden sollten die Schüler für das Protokoll beschreiben, was sie in dieser Doppelstunde geleistet haben. Weiterhin sollten die einzelnen Gruppen ihre Einschätzung mitteilen, welchem Typ die Regelstrecke angehörte, und diese Einschätzung begründen (dies war Teil der vom Lernmodul genannten Aufgabenstellung).

Zwei Gruppen haben aufgrund des Verhaltens des Gleichstrommotors bei sprunghafter Erhöhung der Betriebsspannung darauf geschlossen, dass es sich bei der Regelstrecke um eine PT_1 – Regelstrecke handelt. Eine einzelne Gruppe hat zwar das gleiche Verhalten registriert, würde dieses Verhalten aber eher einer I-Regelstrecke zuschreiben. Es entstand eine kurze Diskussion, die fruchtlos bleiben musste, weil beide Gruppen der Meinung waren, ihre Entscheidung auf der Grundlage gesicherten Wissens getroffen zu haben. Ich hielt mich aus der Diskussion völlig heraus. Nachdem die Diskussion sich festgefahren hatte, wurde das Lernmodul als „Schiedsrichter“ bemüht. Ein kurzer Blick auf die relevante Karte überzeugte alle, dass es sich nur um eine PT_1-Regelstrecke handeln konnte.

Ich bat den Schüler Thomas, jetzt noch einmal für alle die Charakteristika des Verhaltens von PT_1 - Regelstrecken darzustellen. Mit einer hervorragenden Tafelskizze und einer verständlichen Erklärung stellte er am Beispiel eines Backofens nicht nur die Störsprungantwort beim Aufheizen dar, sondern auch noch die korrespondierende Kurve bei der Abkühlung. Dieser Sachverhalt schien anschließend von allen gut verstanden. Ich habe diese Darstellung in der

Klausur noch einmal abgefragt, und sie wurde von fast allen Schülern gut bis brauchbar wiedergegeben.[174]

Eine weitere Diskussion ergab sich nach meiner Frage, wo denn nun bei dem Gleichstrommotor Regelgröße und Stellgröße gefunden werden. Die Definitionen aus dem Lernmodul standen bei den Schülern zur Verfügung und konnten abgerufen werden; echte Klärung brachte ein Beispiel von Thomas, das einen Vergleich zum Automotor in einem Auto mit Geschwindigkeitsregler bemühte. Ayhan folgerte richtig, dass „wir dann ja noch gar nicht geregelt, sondern nur gesteuert hätten". Mit diesem Missverständnis schien auch jedes andere Verständnisproblem aus der Welt geräumt.

Ein anderes Missverständnis wurde in der Diskussion noch schneller entdeckt und beseitigt: die Gruppe „Schlecht" hatte in diesem Versuch mit dem Begriff „Stellgröße" die „Stellung" des Spannungsreglers am Netzteil verbunden. Dies ist zwar bei näherer Überlegung nicht ganz falsch, macht aber beim konkreten Problem wenig Sinn. Die Frage, warum denn der Leistungstransistor überhaupt eingesetzt werden muss, wurde aus der Gruppe sofort mit der viel zu geringen Leistungsabgabe der AD/DA-Wandler-Karte begründet. Dies hätte der Fragende natürlich auch aus der Beschreibung im Lernmodul entnehmen können.

Bei der Arbeit mit den Schülern hat mich durchweg die sachkundige, engagierte und von der breiten Mehrzahl der Schüler getragene Diskussion begeistert. Alle wichtigen Begriffe und Sachverhalte standen zur Verfügung. Die Diskussion konnte somit ihrer Aufgabe, Missverständnisse und Verständnisprobleme auszuräumen, mit hervorragender Effizienz gerecht werden. Man kann an diesem Stundenprotokoll womöglich ablesen, wie zügig die relevanten Diskussionspunkte abgearbeitet werden konnten, wobei ich außer der Diskussionslenkung und der Fragestellung nicht viel beitragen musste.

5.4.5.5 Realisierung der softwareseitigen Voraussetzungen

Ab 5. Stunde

Hier war ein starker Eingriff von meiner Seite notwendig. Wie auch im Abschnitt „Analyse der Zugriffs-Statistiken" nachgewiesen wird, bestand offensichtlich eine Hemmschwelle seitens der Schüler der Gruppen „Platoon" und „Schlecht", den Übergang von der geführten Lernumgebung in die komplexe Programmierumgebung von Visual Basic zu vollziehen. Die Gruppe „Elite" war zu diesem Zeitpunkt allerdings schon in die Programmierung vertieft.

In der Zugriffstatistik erkennt man zu diesem Zeitpunkt bei den anderen Gruppen die von mir so bezeichneten „Seekstrings", mit denen die Gruppen hektisch in der Reihenfolge der Karten das Informationsangebot nach Hilfe absuchen (zum Beispiel Pfeil Nr. 5 bei der Gruppe „Platoon"). Die weiteren Hinweise beziehen sich aber durchweg auf die Visual Basic Programmierumgebung, und machen nur in Zusammenhang mit dieser Sinn.

---

[174] Unstimmigkeiten betrafen vor allem die Form des Graphen im nicht stetig differenzierbaren Bereich zum Zeitpunkt des Störsprunges.

Ich entschloss mich, einzugreifen: Ich stellte in einer Ansprache unmissverständlich klar, dass nun mit der Programmierung begonnen werden muss. Ich wies darauf hin, dass ein Leistungskurs über ein bestimmtes Anspruchsniveau verfügt, dem die Schüler sich nun stellen müssten. Dieses Anspruchsniveau würde sich im allgemeinen im Grad der Mathematisierung manifestieren. Im vorliegenden Fall hätten sie die Möglichkeit, diese Mathematisierung mit Hilfe des Computers zu bewältigen, und diese Möglichkeit sollten sie nun nutzen.

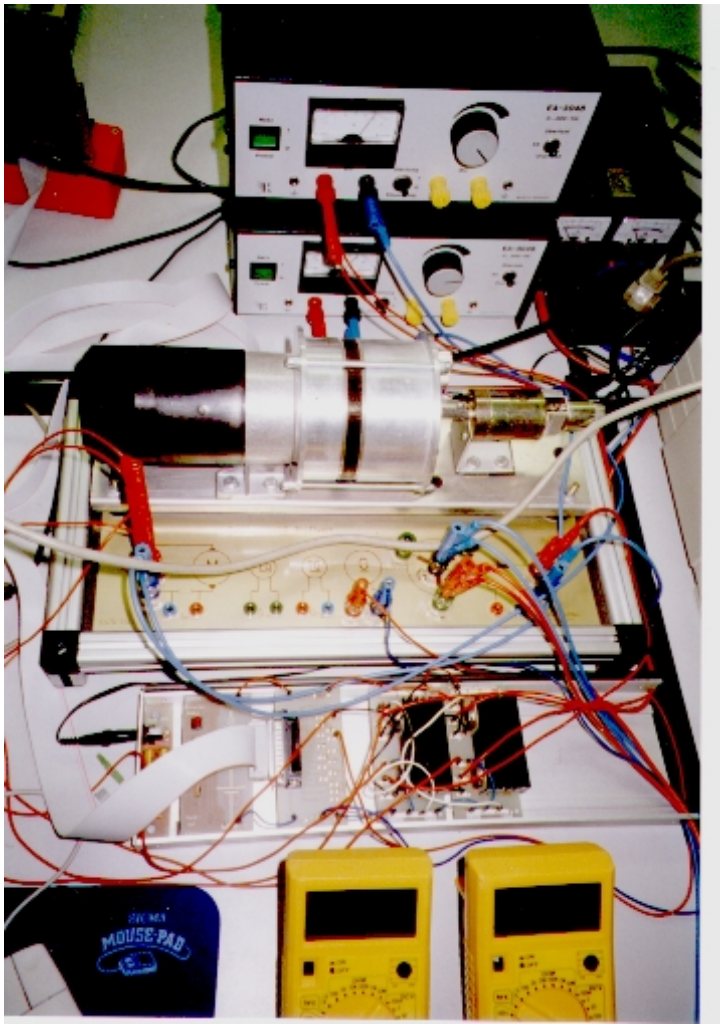
Wesentlich wichtiger war allerdings für die Schüler zu hören, dass sie das Lernmodul nicht zu verlassen brauchten, sondern dass es nur in den Hintergrund des Betriebssystems gelegt werden sollte. Ich zeigte den Schülern, wie man es durch die `Alt+Tab` Tastenkombination wieder in den Vordergrund holen kann, um Hinweise daraus zu beziehen.

Weiterhin demonstrierte ich den Ableger des Lernmoduls, das „Helferlein“, das die Arbeit der Gruppen in der Entwicklungsumgebung von Visual Basic unterstützen soll. Die Gruppen kamen danach zügig zum Erfolg, wobei sich die Schüler der verschiedenen Gruppen gegenseitig unterstützten: wenn der Debugger von Visual Basic zum Beispiel auf einen Programmierfehler in einer bestimmten Programmzeile verwies, wurde diese Zeile mit der Nachbargruppe verglichen. Da es sich vor allem um kleinere Syntaxfehler handelte, habe ich dieses Vorgehen befürwortet, um schnell zum Ziel zu kommen; durch Verständnisfragen an die Gruppenteilnehmer konnte ich ausschließen, das die Schüler ganze Programmteile voneinander abgeschrieben haben. Dazu hatten die Schüler auch gar kein Bedürfnis, denn sie wollten tatsächlich ihren jeweils eigenen Lösungsweg verwirklichen. Entsprechend individuell wirken auch ihre Programme.

Interessanterweise verzichtete die Gruppe „Elite“ völlig auf den Einsatz des „Helferlein“. Diese Gruppe hatte sich vorgenommen, die Programmierung des AD/DA Wandlers „mit Bordmitteln“, also ohne die Kontrolle durch Assistenten, in den Griff zu bekommen.

Dies schafften sie auch recht schnell. Im Folgenden machten sie sich daran, die Leistungsgrenze des Messaufbaus, der wie beschrieben vor allem durch die maximal möglichen Zugriffe auf den TCP/IP Stack pro Sekunde definiert wird, selbst auszuloten. Dies brachte ihnen einige Abstürze ein, die sonst vom „Helferlein“ abgefangen worden wären. Da die Grenzen im „Helferlein“ aber von mir recht konservativ definiert worden sind, und die Schüler selbst an dem Rechner saßen, der über das AD/DA Wandler Interface verfügt, erhielten sie im Endeffekt einen leistungsfähigeren Aufbau, was sich hinterher tatsächlich in der Qualität der Regelung bei hoher Motorleistung bemerkbar machte.

Auch auf der Hardwareseite gab sich die Gruppe „Elite“ nicht mit dem zufrieden, was bereits vorhanden war. Besonders störte sie, dass der Motor zwar eine Nennstromaufnahme von 6 A bei 24 V Betriebsspannung hatte, der Leistungstransistor aber bei einem maximalen I_B 1.18mA gerade 2.6A I_{CE} passieren ließ und dabei schon recht warm wurde.



Als Lösung erweiterte die Gruppe „Elite“ die Schaltung eigenständig auf eine Parallelschaltung von insgesamt 4 Leistungstransistoren. Da das Netzteil hierbei seine Belastungsgrenze erreichte, wurde von ihnen parallel noch ein zweites Netzteil dazugeschaltet. Für Versuche unter Last bezogen die Schüler die Erregerspannung dann aus einem dritten Netzteil. Die nebenstehende Abbildung zeigt den endgültigen Aufbau der Gruppe „Elite“. Man vergleiche mit der Darstellung des Standardaufbaus im vorherigen Abschnitt. Bei allem hat die Gruppe zwar regelmäßig um Erlaubnis, aber nie um Betreuung nachgesucht. Die Leistung der Schüler erfolgte tatsächlich eigenständig, mit Unterstützung des Lernmoduls.

Abbildung 84: Modifizierter Aufbau der Gruppe „Elite“

5.4.5.6 Einsatz, Erprobung und Optimierung verschiedener Reglertypen

Nachdem sowohl das Lesen des Istwertes als auch das Setzen des Stellwertes von den Schülern beherrscht wurde, gab es recht wenig Probleme, den Schülern zu vermitteln, wie ein P-Regler durch eine Softwarelösung zu realisieren ist. Auffällig war dennoch, dass die Schüler zuwenig Selbstvertrauen besaßen, um die Programmierung gemäß den Anweisungen des Lernmoduls einfach mal zu versuchen. Selbst die Gruppe „Elite“ forderte hier eine Betreuung an, die aber, wie bei allen anderen Gruppen, sehr kurz gehalten werden konnte, da alle notwendigen Informationen bereits vorlagen.

Meine - bei allen Gruppen gleiche - Hilfestellung war der Rat, die auf der Karte „Die Arbeitsweise eines P-Reglers“ dargestellte Gleichung zunächst auf Papier zu schreiben, und dann sukzessive für die genannten Variablen die Programmbefehle einzusetzen, mit denen man die entsprechenden Werte erhält (`Wandler1.Eingabe(1)`, um den Istwert einzulesen, `Slider1.Value`, um den Sollwert einzulesen...). Vor Beginn der Unterrichtsreihe, als Einstieg in die Programmierung mit Visual Basic, hatten sie bereits eine Formelsammlung programmiert, die eingegebene Werte gemäß programmierter Funktionen umwandelt und ausgibt.

Mit diesem Vorwissen verbunden reichte der von mir gegebene Impuls bei allen Gruppen, um bei mindestens einem Gruppenmitglied sofort eine Initiative auszulösen. Im Anschluss daran programmierten die Gruppen weitgehend selbstständig die P-Regler. Bei der Gruppe „Schlecht“ war es zusätzlich notwendig, den Hinweis zu geben, dass man ein Timer-Control für ein regelmäßiges Einlesen und verarbeiten des Istwertes benutzen kann. Die anderen Gruppen hatten das Timer-Control ja bereits in ihre Programme integriert.

Die realisierten P-Regler funktionierten erwartungsgemäß noch nicht sehr zufriedenstellend. Eine Kombination aus P-Regler und P-Regelstrecke ist zwar stabil, die stationäre Genauigkeit ist jedoch nicht ausreichend: Bei nahezu jedem Betriebszustand tritt eine große bleibende Regelabweichung auf, die der Regler nicht mehr ausgleichen kann.

Dies fiel bei den hier realisierten Regelstrecken deutlich auf: Der Istwert erreichte bei einer Kenngröße K_P des Reglers von (-1) im allgemeinen nicht mehr als 60-70 % des Sollwertes. Bei kleineren K_P wurde die Regelung, bedingt durch eine geringe Totzeit bei der Übertragung der Messdaten durch das Netzwerk, sogar instabil. Dieses Verhalten wurde von mir mit den einzelnen Gruppen qualitativ diskutiert; durch Variation von K_P und Vergleich mit der Station, die direkt an den AD/DA Wandler angeschlossen war, konnte phänomenologisch gezeigt werden, dass dieses Verhalten von K_P und von der durch das Netz bestimmten Verzögerung abhängig ist.

Die Gruppe „Platoon“ kam schnell zur Idee, die Gleichung

$$\Delta Y = K_P \cdot X_W$$

Um eine konstante „Startspannung“ U_0 zu ergänzen:

$$\Delta Y = K_P \cdot X_W + U_0$$

Dieser Weg, der unter gewissen Randbedingungen durchaus eine Optimierung darstellt, ist natürlich problematisch und wird deshalb in der Regelungstechnik meines Wissens nach vermieden. Er führt nur zu einer Verringerung der bleibenden Regelabweichung, wenn der Sollwert von vorneherein feststeht; dann kann man solange durch „Variation der Startspannung optimieren“, bis die Regelabweichung verschwindet. Bei einer Änderung des Sollwertes, d. h. einer variablen Führungsgröße, taucht aber sofort wieder eine Regelabweichung auf.

Dies wurde den Schülern aber bei der weiteren Erprobung ihres Reglers ohne mein Zutun klar. In der Diskussion konnten wir festhalten, das diese „Optimierung“ nur im Bereich um einen bestimmten Sollwert herum brauchbar ist, und dass für jeden neuen Sollwert eine erneute Optimierung notwendig ist, was insgesamt wenig befriedigend ist. Daraus konnte direkt abgeleitet werden, dass ein P-Regler alleine nicht für alle Zwecke ausreicht.

Die weitere Planung war nun, dass die Schüler die bekannten Reglertypen zu PI-, PD-, und PID-Reglern kombinieren, um aus den spezifischen Eigenschaften der Reglertypen einen optimierten Regler zu realisieren. Ich hatte den Schülern offengestellt, mit einem PI- oder einem PD-Regler fortzufahren. Alle Gruppen entschieden sich, zunächst einen PD-Regler zu programmieren. Mögliche Gründe dafür:

- Die Schüler haben bis jetzt die Versuche in einer vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet. Dies war nicht anders möglich, da die verschiedenen Stufen der Realisierung aufeinander aufbauen (Hardwareseite, Softwareseite...). Auch wenn das Multimedia-Lernmodul nun anzeigt, dass von nun an alle Versuche in beliebiger Reihenfolge bearbeitet werden können, bleiben die Schüler gewohnheitsgemäß bei der Reihenfolge, in der die Versuche im Auswahlmenü auftauchen.

- Das Funktionsprinzip des P-Reglers erscheint ihnen einleuchtender, beziehungsweise die Darstellung der Funktionsweise im Lernmodul spricht sie mehr an.

- Die Schüler verbinden mit dem Integralbegriff unangenehme Erinnerungen an ihren Mathematikunterricht.

Nachdem die erste Gruppe sich dazu entschieden hat, mit dem Integralregler fortzufahren, wollten die anderen Gruppen nachziehen.

Der letzte Grund ließe sich ausschalten, indem man die Arbeit der Gruppen stärker voneinander trennt. In der Tat war immer wieder zu beobachten, dass sich die Schüler bei anderen Gruppen über den Fortschritt ihrer Arbeit orientieren und unterschiedliche Lösungen verglichen wurden. Andererseits will ich genau dieses Verhalten eben nicht unterbinden. Im Gegenteil wurden Sabine und Patricia aus der Gruppe „Platoon“, die am Ende den anderen Gruppen um einen Versuch voraus war, zum Austausch zu den anderen Gruppen geschickt, um diese bei der Programmierung des PD-Reglers zu unterstützen.

5.4.5.7 Gemeinsame Erstellung der Projektdokumentation

Eine ursprüngliche Planung von mir sah vor, dass alle Gruppen zunächst getrennt ein vollständiges Versuchsprotokoll mit ausführlichem Theorieteil anfertigen, diese Protokolle dann kopiert in der Gruppe zur Diskussion kommen und ggf. Neufassungen erstellt werden. Mit Hinblick auf den frühen Klausurtermin und zahlreiche Unterrichtsausfälle habe ich beschlossen, diesen Zyklus zu verkürzen. Die Schüler sollten nun eine Doppelstunde darauf verwenden, alle ihrer Meinung nach (klausur-) relevanten Grundlagen der Elektro- und Regelungstechnik zunächst handschriftlich zusammenzustellen. Dazu benutzten sie neben dem Lernmodul auch zahlreiche Aufzeichnungen aus ihrer Versuchsphase.

In der anschließenden Doppelstunde - es stellte sich kurzfristig heraus, dass eine weitere Doppelstunde wegen mündlicher Abiturprüfungen ausfallen sollte, so dass diese Doppelstunde die letzte vor der Klausur war - wurden diese Gruppenergebnisse in einer Plenumssitzung zu einer einheitlichen Darstellung der Grundlagen zusammengefügt. Während dieser Sitzung wurde, womöglich auch angesichts der anstehenden Klausur, mit erstaunlicher Effizienz gearbeitet. Innerhalb kurzer Zeit konnten die Struktur eines Regelkreises mit allen wesentlichen Größen, die Merkmale von PT_1- und I-Regelstrecken und die Charakteristika von P-, I- und D-Reglern festgehalten werden. Dabei wurde intensiver Gebrauch von Diagrammen gemacht, die insbesondere die Sprungantworten der beteiligten Glieder darstellten und erklärten. Noch offene Verständnisfragen konnten die Schüler innerhalb der Gruppe selbst beantworten. Mein Eingreifen konnte sich darauf beschränken, Gliederungsvorschläge zu machen und schärfere Definitionen für bestimmte klausurrelevante Begriffe (Regelgröße, Regelabweichung, I-/ D-Verhalten) einzufordern.

Zwischendurch ereignete sich eine interessante und von den Schülern fundiert getragene Diskussion darüber, wie viele - und welche - Reglertypen bei Menschen vorkämen. Schon alleine am rein motorischen Verhalten des Menschen, also ohne biologische und psychologische Vorgänge, konnten alle Reglertypen festgemacht werden. Dabei ergab sich die bisher an keiner Stelle thematisierte Zweipunktregelung zwanglos am Beispiel eines Betrunkenen, der versucht, eine Straße entlangzugehen, ohne in einen der Straßengräben zu fallen.

5.4.6 Analyse der Zugriffs-Statistiken

Die Protokollfunktion des Lernmoduls ermöglicht es, über der Zeitachse aufzutragen, zu welchem Zeitpunkt (gemessen vom ersten Anmelden der Gruppe an das Lernmodul, Pausen zwischen den Programmstarts nicht mitgezählt) die Gruppe eine bestimmte Karte betrachtet hat. Durch Vergleich mit Tabelle 2 wird deutlich, mit welchen Inhalten sich die Gruppen zu einem bestimmten Zeitpunkt auseinandergesetzt haben.

Ich möchte am Beispiel der Gruppe mit dem (selbstgewählten) Namen „Platoon“ vermitteln, wie die Diagramme zu lesen sind, und wie sie sich interpretieren lassen. Anschließend sollen vergleichend die Zugriffstatistiken der anderen Gruppen betrachtet werden. Hier zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede.

Lfd. Nr.	Inhalt
0	Aufgabenstellung
1	Lorentzkraft
2	Generatorprinzip
3	Motorprinzip
4	Regelkreis
5	I-Strecke
6	PT_1-Strecke
7	P-Regler
8	I-Regler
9	D-Regler
10	Objektzugriff
11	Num. Differentiation
12	Num. Integration
13	Interface
14	Transistor

Tabelle 2: Die laufenden Nummern der einzelnen Informationskarten im Lernmodul.

5.4.6.1 Gruppe „Platoon“

Die Gruppe „Platoon“ bestand aus 2 Jungen und 2 Mädchen. Sabine, die von mir als misserfolgsmotiviert eingeschätzt wird (siehe meine Darstellung der Lerngruppe), hat sich in diese Gruppe eingeordnet.

Die Gruppe wies von allen die stärkste Lehrerzentrierung auf; ich wurde von dieser Gruppe am häufigsten um Betreuung gebeten. Nach abgeschlossenen Teilaufgaben forderte die Gruppe stets umgehend eine Bewertung von mir; viele Hinweise über Fehler im Programm, z. B.

falsch gesetzte Zeilenumbrüche, zu einfache bzw. einfach zu umgehende Abfragen erreichten mich aus dieser Gruppe. Tauchte ein Problem auf, tendierte diese Gruppe stark dazu, erst um Betreuung zu bitten, anstatt sofort selbst nach einer eigenen Problemlösung zu suchen.

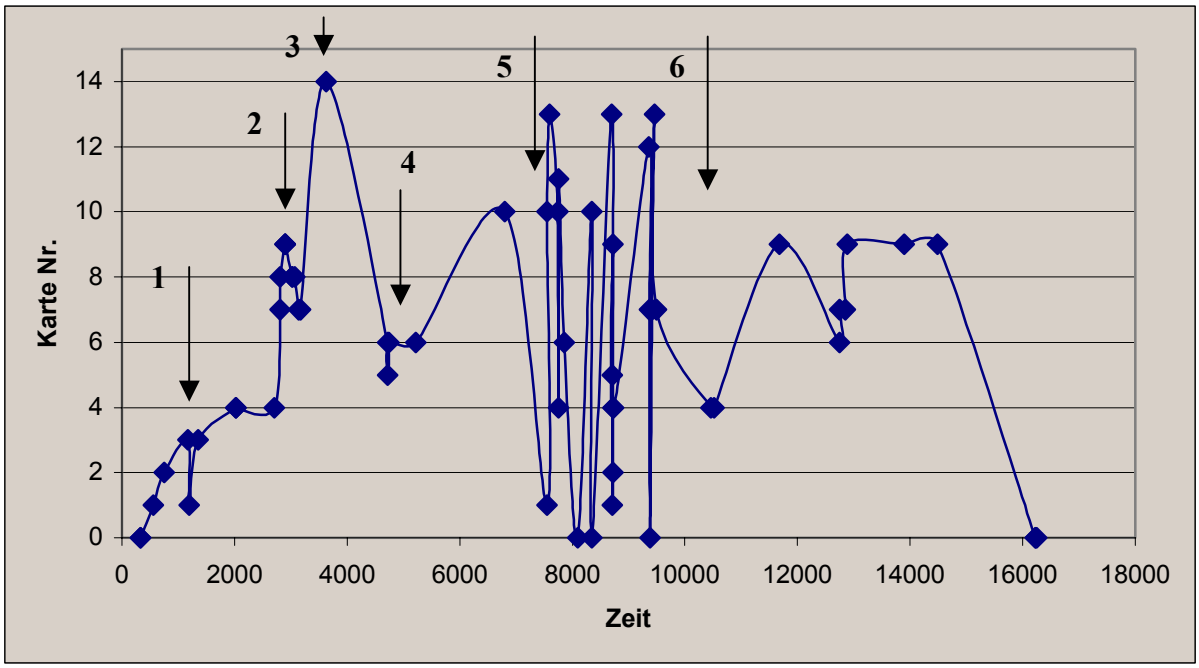


Abbildung 85: Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Platoon“

Die Abbildung zeigt die Zugriffstatistik dieser Gruppe. Zum Vergleich stellt die Tabelle 3 die Zeitpunkte dar, an denen die Gruppe „Platoon“ jeweils einen der 3 Sätze mit Leitfragen beantwortet hat.

Zugriffszeit	Aufgabe	Punktzahl
200	1	135
483	1	105
702	2	150
1114	2	180
1142	2	180
2611	3	90
2642	3	120

Tabelle 3: Bearbeitung der Leitfragen durch die Gruppe „Platoon“

Man sieht bei der Gruppe „Platoon“ einen gleichmäßigen Anstieg der Kurve währen der ersten 3000 Sekunden. Das bedeutet, dass die Karten weitgehend der Reihe nach betrachtet wurden, und etwa gleichermaßen Aufmerksamkeit erhielten. In den gleichen Zeitraum fällt die Bearbeitung der Leitfragen. Man sieht, wie während der Beantwortung des 2. und des 3. Satzes (markiert durch die **Pfeile 1** und **2**) in den betreffenden Informationskarten zurückgeblättert wurde.

Dies ist ein Zeichen dafür, dass die Gruppe „Platoon“ die Fragen wirklich als Leitlinie für die Bearbeitung der im Lernmodul vermittelten Grundlagen benutzt hat. Insgesamt hat die Gruppe „Platoon“ am meisten Sorgfalt auf die Beantwortung der Leitfragen verwendet. In der

Tabelle 3 ist ersichtlich, dass die Gruppe die Fragen anschließend jeweils ein zweites Mal beantwortet hat - bei den Fragen zum Motor- /Generatorprinzip (1. Satz) zum Ausprobieren, bei den Fragen zum Regelkreis und zu den Reglertypen (2. und 3. Satz) aber eindeutig, um eine höhere Punktzahl zu erreichen. Dies, obwohl ich deutlich gemacht habe, dass die Beantwortung der Leitfragen in keinem Bezug zur Note stehen kann.

Nachdem die Grundlagen mit den Leitfragen erarbeitet wurden, benutzten die Schüler etwa über eine Viertelstunde (≈ 1000 Sekunden) die Karte Nummer 14 (**Pfeil 3**), in der Funktion und Beschaltung des Leistungstransistors erklärt wird. In diesem Zeitraum bearbeiteten sie meiner Beobachtung nach den Versuch 1, „Realisierung einer Schaltung zur manuellen Steuerung“, dessen wesentlicher Bestandteil die korrekte Verwendung eben dieses Leistungstransistors ist.

Zum Abschluss des Versuchs 1 sollen die Schüler entscheiden, ob es sich bei dem Gleichstrommotor um eine Regelstrecke mit P- oder mit I-Verhalten handelt. Wie man sieht, haben sich die Schüler eingehend mit den Karten 5 und 6 (PT_1-Strecke, I-Strecke) auseinandergesetzt, auch vergleichend zwischen beiden Karten gewechselt (**Pfeil 4**), um zur einer Entscheidung zu kommen. Wie die Protokollsoftware vermerkt hat, war die Antwort auf Anhieb richtig, es wurde also wahrscheinlich nicht geraten.

Im Anschluss daran begannen die Schüler mit den Vorbereitungen, um die Regelstrecke mit dem Computer zu verbinden. Sie studierten zunächst die Informationen auf Karte 10. Karte 10 beschäftigt sich vornehmlich mit der softwareseitigen Ansteuerung der Schnittstelle, also des AD/DA-Wandlers. Da der AD/DA-Wandler aber zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht in die Schaltung integriert war, entstand offensichtlich einiges an Verwirrung. Die Zugriffsstatistik zeigt ein schnelles Hin- und Herwechseln durch das Informationsangebot auf der Suche nach Hinweisen zur Lösung des Problems (**Pfeil 5**). An dieser Stelle wurde ich zur Hilfe gerufen. Ich wies auf Karte 13 hin, auf der die korrekte Beschaltung des Interfaces vermittelt wird.

Wahrscheinlich erwarteten die Schüler weiterhin einen einigermaßen linearen Ablauf des Informationsangebotes. Die Karte 13 steht relativ weit hinten; möglicherweise hatte diese konkrete Gruppe nicht die Idee, dort zu suchen. Es wäre zu überlegen, ob man die Reihenfolge, in der die Karten im Navigationsbaum angeordnet sind, wieder stärker an die Abfolge der Aufgaben annähert. Andererseits sollen die Schüler ja gerade lernen, wichtige Informationen aus einer breit gestreuten Wissensbasis auszufiltern.

Möglicherweise war die Karte 13 aber auch nicht deutlich genug gekennzeichnet, oder der Bezug zu der zur Verfügung stehenden Hardware wurde nicht sofort klar (die Schnittstellenkarte zum ESTU-System ist bei der Laborbegehung in der 1. Stunde der Reihe allen gezeigt worden). Eine realitätsnähere, weniger schematische Darstellung der Karte, wie vielleicht eine eingescannte Fotografie, wäre hier vielleicht hilfreich.

In der Folge sieht man, dass Karte 13 zur Problemlösung stark frequentiert wird. Sie ist sowohl für die hardwareseitige Anbindung des PC an die Regelstrecke, als auch für die softwareseitige Ansteuerung des DA/AD-Wandler wichtig.

Darüber hinaus sieht man, dass die Gruppe versucht, die Informationen dieser Karte mit den Informationen der niedrigeren Karten, auf denen u. a. das Motor- / Generatorprinzip erklärt

wird, in Beziehung zu setzten! Die Gruppe versucht anscheinend, zur korrekten Beschaltung und Programmierung des AD/DA-Wandlers Informationen über die Messgröße und die Stellgröße der Regelstrecke zu erhalten. Darüber hinaus wird bei mehreren Gelegenheiten ein erneuter Blick auf die Aufgabenstellung geworfen. Culverhouse, Ball und Burton bezeichnen dieses Verhalten als typisch für ein fortgeschrittenes Problemlösungsverhalten bei Ingenieuren. Personen, die zum erstem Mal mit technischen Problemlösungen konfrontiert werden, neigen danach mehr dazu, die Aufgabenstellung aus dem Blick zu verlieren[175].

Im Anschluss (**Pfeil 6**) vertieft sich die Gruppe in die programmiertechnische Realisierung der Regler. Entsprechend erkennt man, dass die Informationen der Karten 7, 8, 9 (P- I- und D-Regler) nun am stärksten frequentiert werden. Diese Aufgabe wird weitgehend in der Entwicklungsumgebung der Programmiersprache Visual Basic abgewickelt; sie erfordert vorwiegend kombinatorische Leistungen der Schüler und zahlreiche sogenannte „Debugzyklen“ aus Programmerstellung, Testdurchlauf, Fehlerdiagnose und Verbesserung. Man sieht in Folge, dass die Frequenz der Zugriffe auf das Lernmodul geringer wird. Die Schüler haben erkannt, dass sie sich die Lösung des Problems selber erarbeiten müssen, und greifen nur gezielt auf bestimmte Schlüsselinformationen zu. Meiner Beobachtung nach wurden vor allem die Gleichungen der Regler häufig betrachtet, und Erklärungen für das Verhalten der von den Schülern programmierten Regler durch den Vergleich zu den im Lernmodul dargestellten gesucht.

Die Abbildung 3 zeigt, welche Zeit lang (in Sekunden) die einzelnen Karten insgesamt zur Anzeige gekommen sind. Eine besonders lange gesamte Betrachtungszeit kann darauf hindeuten, dass eine Karte für die Schüler bei der Bearbeitung der Aufgaben von besonderem Nutzen waren. Es kann aber genauso gut bedeuten, dass bei der Darstellung der Informationen auf der Karte ein Verständnisproblem aufgetaucht ist, dass die Schüler gezwungen hat, sich besonders lange mit dieser speziellen Karte auseinander zu setzen.

Leider lässt sich nicht feststellen, ob die Karten wirklich betrachtet wurden, oder ob sie, z. B. während der Programmierung in Visual Basic, nur im Hintergrund standen.

Bei der Gruppe „Platoon“ ist das sicherlich an einer Stelle der Fall: nachdem die Gruppe die Informationen zu P-, I-, und D-Reglern betrachtet hat, begann sie mit der programmiertechnischen Umsetzung in Visual Basic. Wie der Vergleich mit Abbildung 86 zeigt, war die Darstellung des D-Reglers die letzte angezeigte Karte. Die Zeit für diese Karte lief weiter, obwohl das Lernprogramm innerhalb der Windows-Bildschirmanzeige von der Visual Basic-Entwicklungsumgebung verdeckt wurde.

Die Karte, die die Aufgabenstellung beschreibt, enthält relativ viel Text und wurde meiner Beobachtung nach auch aufmerksam gelesen. Zusätzlich kehrte die Gruppe, wie auch aus Abbildung 86 ersichtlich, recht häufig zu dieser Karte zurück. Die Karte blieb dann ebenfalls im Hintergrund.

---

[175] Culverhouse 1992. Seite 67.

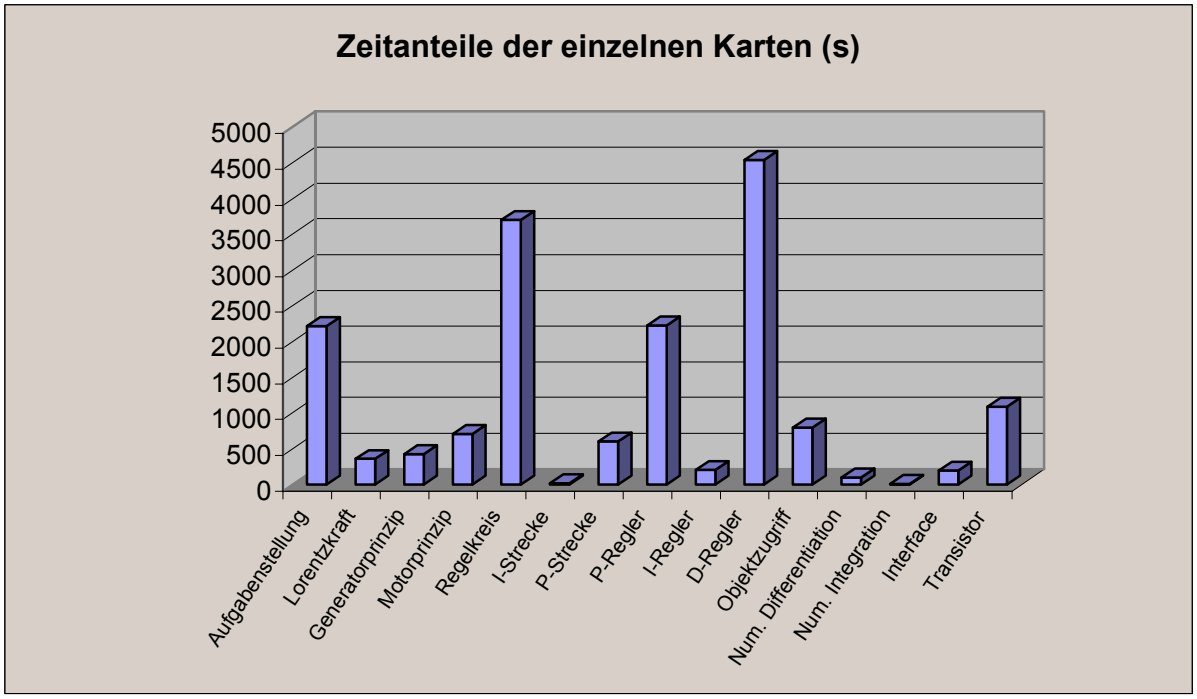


Abbildung 86: Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Platoon“

Die Werte der restlichen Karten wirken plausibel. Die Karten zu den Grundlagen der Elektrotechnik sind wohl auch wegen der computergenerierten 3D-Animationen eingehend betrachtet worden. Die Karte mit der Struktur des Regelkreises wurde sehr häufig als Diskussionsgrundlage benutzt und war dann längere zeit im Vordergrund. Das Informationsmaterial zum Objektzugriff enthält viel Text und ist, insbesondere am Bildschirm, schwierig zu lesen; von den Schülern erreichten mit dazu einige berechtigte Beschwerden. Die Karte mit den Informationen über die Leistungsverstärkung mittels Transistoren wurde benötigt, während die Schüler die Motorsteuerung realisierten.

Wie man sieht, ist eine Interpretation der Zeitanteile der einzelnen Karten nicht unkritisch. Solange jedoch der Unterricht nicht durch zuviel Leerlauf beherrscht wird, kann man in guter Näherung davon ausgehen, dass sich sie Schüler gerade mit einem Problem auseinandersetzen, dass einen Bezug zu der zuletzt angezeigten Karte hat.

Fasst man daher die einzelnen Karten zu thematisch verwandten **Kapiteln** zusammen - hier bietet sich die Gliederung an, die auch schon in der Navigationsleiste des Lernmoduls verfolgt wird - so ist die Verteilung der Zeitanteile auf die einzelnen Kapitel (Abbildung 87) ein brauchbares Maß dafür, mit welchen Themen sich die Gruppe schwerpunktmäßig auseinandergesetzt hat.

Abbildung 87: Aufenthaltsdauer der Gruppe „Platoon“ in den einzelnen Kapiteln.

Wie im Abschnitt „Strukturierung der Unterrichtsreihe und des Lernmoduls“ dargestellt wurde, orientiert sich die Struktur des Lernmoduls in gewissen Grenzen an den Stufen eines technischen Entwicklungsprozesses nach Pahl und Beitz. Entsprechend lassen sich die einzelnen Kapitel einordnen:

Kapitel	**Stufe**
Aufgabenstellung	Klärung der Aufgabenstellung
Elektrotechnische Grundlagen	Verständnis der notwendigen Grundlagen
Regelungstechnische Grundlagen	
Programmiertechnik	Suche nach Standards und existierenden Lösungen
Hardware	Praktische Erprobung

Wie sich zeigt, hat sich die Gruppe „Platoon“ bei ihrer Arbeit schwerpunktmäßig - sei es beim selbstgesteuerten Lernen mit dem Multimedia-Lernmodul, sei es bei der handlungsorientierten Erarbeitung mit der Hardware des ESTU-Systems - mit den Grundlagen der Regelungstechnik auseinandergesetzt. Obwohl die Darstellung der Informationen in der Wissensbasis es genauso erlauben würden, das Multimedia-Lernmodul im Physikunterricht einzusetzen, ist hier durch die **Art der praktischen Aufgabenstellung**, der **Zielsetzung** und **der Führung durch die Wissensbasis** gelungen, dem Thema der Unterrichtsreihe: „Einführung in die Regelungstechnik am Beispiel Drehzahlregelung eines Motor-Generator-Satzes“ gerecht zu werden.

5.4.6.2 Gruppe „Elite“

Die Gruppe mit dem selbstgewählten Namen „Elite“ bestand zunächst aus 4 Jungen. Ein Gruppenteilnehmer verließ aber zwischenzeitlich die Oberstufe, um eine Berufsausbildung anzutreten. Ayhan, einer der als misserfolgsmotiviert beschriebenen Schüler, hat sich dieser Gruppe zugeordnet und wurde dort gut integriert.

Die Gruppe „Elite“ fiel durch ihr besonders selbstständiges Arbeiten auf. Zum einen wurde ich während der gesamten Reihe lediglich zweimal um Betreuung ersucht. Zum anderen widmete die Gruppe sich Problemen, die weit über die Aufgabenstellung und das erwartete Maß an eigener Leistung hinaus gingen.

Zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Arbeit studieren zwei Mitglieder der Gruppe erfolgreich Elektrotechnik an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg.

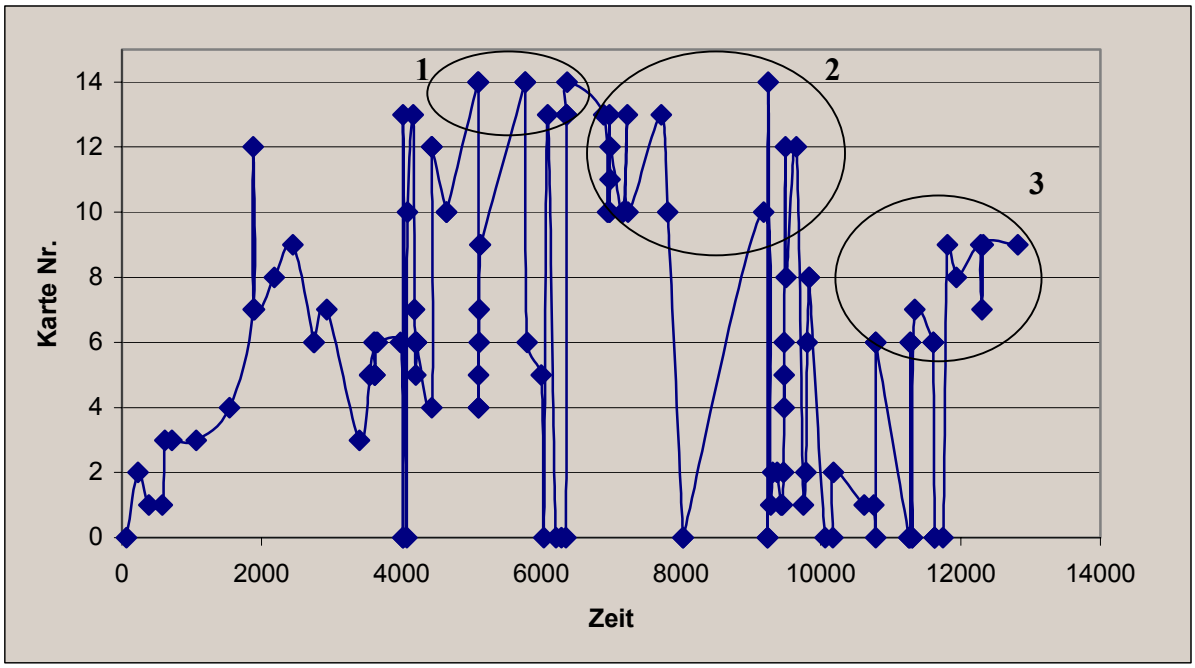


Abbildung 88:Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Elite“

Im direkten Vergleich mit der Gruppe „Platoon“ fällt auf, dass das Lernmaterial anhand der Leitfragen in einem wesentlich höheren Tempo durchgearbeitet wurde. Insgesamt wurden für den ersten Durchgang nur 28 anstatt 43 Minuten benötigt (65 %). Nach dem erstem Durchgang entschied sich diese Gruppe aus Ehrgeiz noch zu einem zweiten, um auf maximale Punktzahl zu kommen.

Der Anstieg der Kurve in der Zugriffstatistik fällt entsprechend steiler aus als bei der Gruppe „Platoon“.

Zugriffszeit	Aufgabe	Punktzahl
346	1	120
1560	2	120
1722	3	75
2021	2	180
2158	3	120

Tabelle 4: Bearbeitung der Leitfragen durch die Gruppe „Elite“

Das wirklich herausragende Merkmal der Zugriffstatistik von „Elite“ ist das von mir als **clustering** bezeichnete Auftreten einer Mehrzahl von Zugriffen, die in einem eng umgrenzten zeitlichen und thematischen Raum stattfinden. (Ovale 1, 2 und 3). Sie unterscheiden sich deutlich von den seekstrings, die für die eher ziellose Informationssuche zum Beispiel der Gruppe „Schlecht“ kennzeichnend ist.

Das Auftreten dieser **cluster** fällt zeitlich zusammen mit herausragenden Gruppenleistungen. Cluster 1 kennzeichnet Zugriffe, die eng auf das Gebiet „Hardware“ beschränkt sich. Zeitgleich hat sich die Gruppe hervorgetan, indem sie eigenständig durch Einsatz von 4 parallel geschalteten Leistungstransistoren und 2 Netzteilen eine wesentliche Leistungssteigerung des Aufbaus erwirkt hat.

Man beobachtet eine ebenso konsequente und konzentrierte Informationssuche im Bereich der Programmiertechnik (Cluster 2). Zeitgleich baute die Gruppe sehr schnell und ebenfalls von mir unbetreut eine leistungsfähige und individuell designte Benutzeroberfläche für die Ansteuerung des AD/DA-Wandlers auf, wobei sie anstatt des „Helferlein“-Assistenten als einzige Gruppe direkt auf das AD/DA-Wandler-Steuerobjekt zugriff.

Der Cluster 3 markiert eng die Informationskarten zu den P-, I- und D-Reglertypen. Auch hier wird gezielt nach Information in einem sinnvollen umgrenzten Bereich gesucht. Unterbrochen werden die Cluster durch regelmäßige Kontrolle der Aufgabenstellung. Nach Culverhouse ist dieser ständige Abgleich des entstehenden Produktes mit dem Anforderungsprofil ein Kennzeichen für Ingenieure mit fortgeschrittenen konstruktiven Fähigkeiten.

Meiner Meinung nach wird in diesen Diagrammen eine im Vergleich zu anderen Gruppen **höhere Medienkompetenz** der Gruppe „Elite“ deutlich sichtbar.

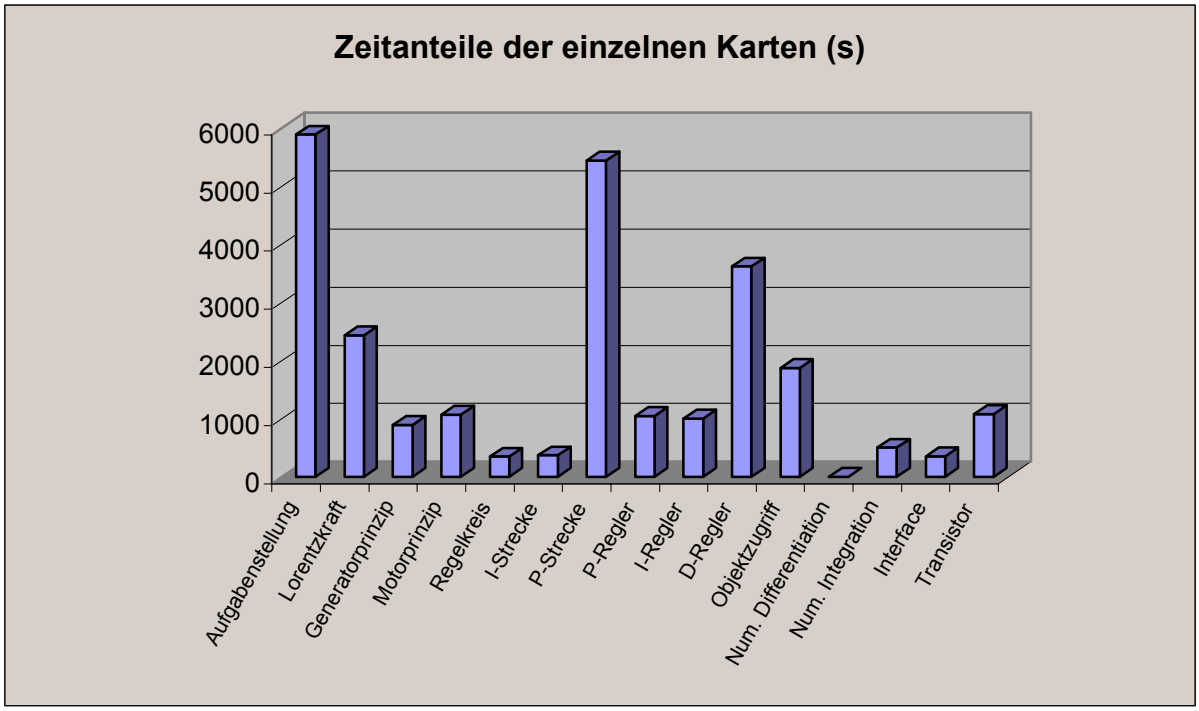


Abbildung 89:Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Elite“

Den gleichen Hintergrund hat die unvernünftig hohe Anzeigezeit der Informationskarte zur P-Regelstrecke. Nachdem die Gruppen - relativ zeitgleich - die Steuerungsschaltung realisiert und ihre Einstufung der Regelstrecke nach P- oder I-Verhalten getroffen haben, habe ich eine Gruppensitzung einberufen, in der Ablauf und Ergebnisse dieses Versuchs besprochen und diskutiert wurden. Auch dabei wurde die Zeit für die zuletzt betrachtete Karte weiter gezählt.

Abbildung 90:Aufenthaltsdauer der Gruppe „Elite“ in den einzelnen Kapiteln

5.4.6.3 Gruppe „Schlecht“

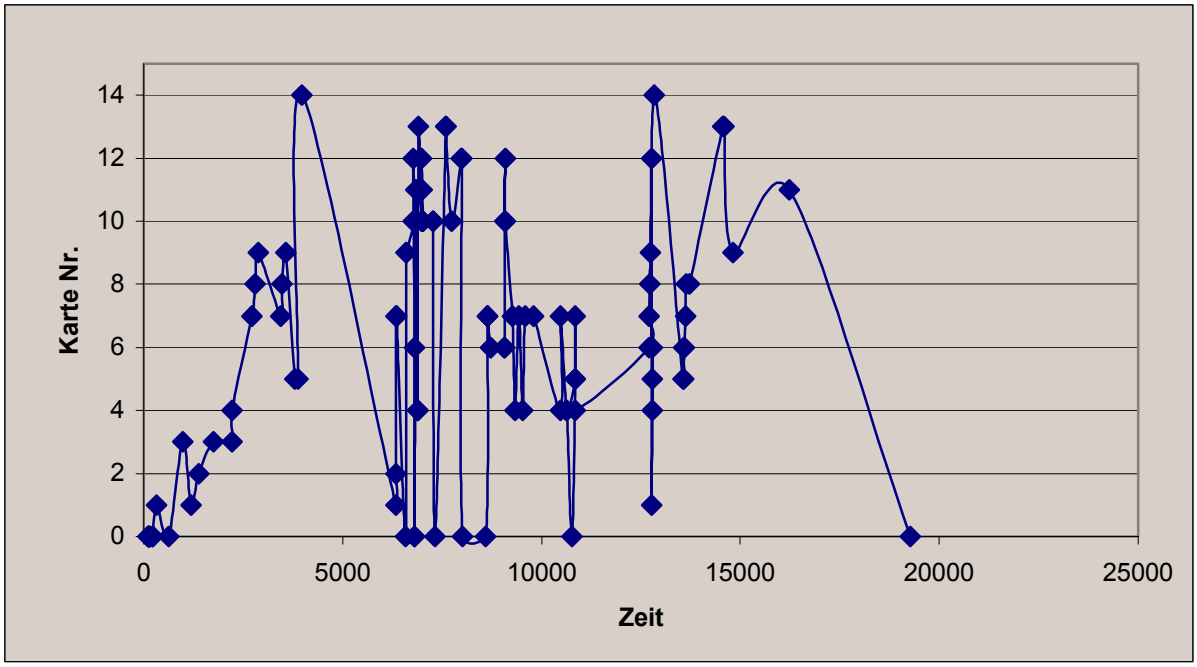


Abbildung 91:Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Schlecht“

Zugriffszeit	Aufgabe	Punktzahl
33	2	150
108	1	120
206	3	30
256	3	90
288	3	120

Tabelle 5: Bearbeitung der Leitfragen durch die Gruppe „Schlecht“

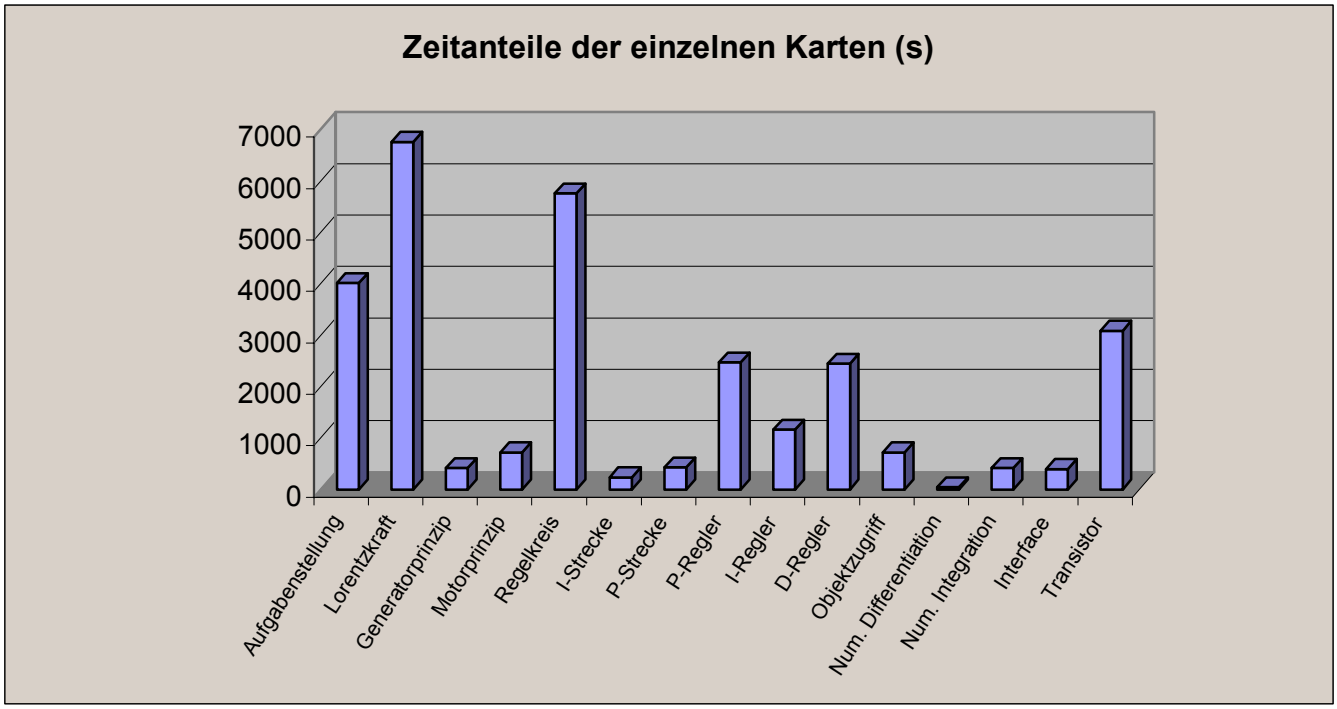


Abbildung 92: Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Schlecht“

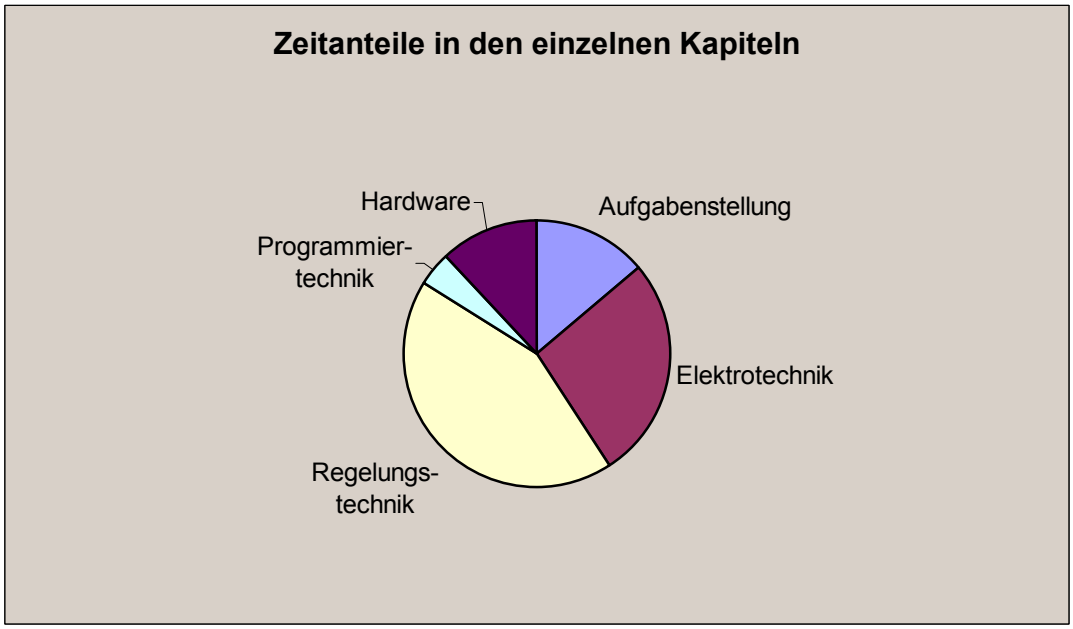


Abbildung 93: Aufenthaltsdauer der Gruppe „Schlecht“ in den einzelnen Kapiteln

5.4.7 Die Klausur vom 9.6.1998

Problemstellung: In einer Verfahrenstechnischen Anlage wird ein Reaktionsofen aufgestellt, dessen Temperatur durch einen Ölbrenner konstant gehalten werden soll.

Aufgabe 1: Regelkreise.

Zeichne den Signalflussplan eines Regelkreises, der diese Regelungsaufgabe übernehmen kann. Beschrifte die Funktionsblöcke, und trage alle wichtigen Größen mit ihrer physikalischen **und** regelungstechnischen Bezeichnung ein!

Aufgabe 2: Regelstrecken.

Der Ofen verfügt nur über eine beschränkte Wärmeisolierung. Wie wird er sich bei einer plötzlichen Änderung der Wärmezufuhr verhalten - wie eine P-Regelstrecke oder wie eine I-Regelstrecke? Begründe Deine Entscheidung! Skizziere dazu auch den zeitlichen Verlauf von Sprung und Sprungantwort.

Aufgabe 3: Regler.

Der große Ofen reagiert **sehr** träge auf Einflüsse von außen (Änderung der Umgebungstemperatur usw.). Für den verfahrenstechnischen Prozess ist es jedoch sehr wichtig, eine bestimmte Temperatur möglichst **genau** einzuhalten. Der Verfahrensingenieur muss sich jetzt gut überlegen, welchen Regler (oder welche Kombination von Reglern) er einsetzen soll.

Charakterisiere für jeden Reglertyp (P-, I-, D-Regler) einzeln, ob sein Einsatz

- notwendig,
- sinnvoll oder
- überflüssig ist!

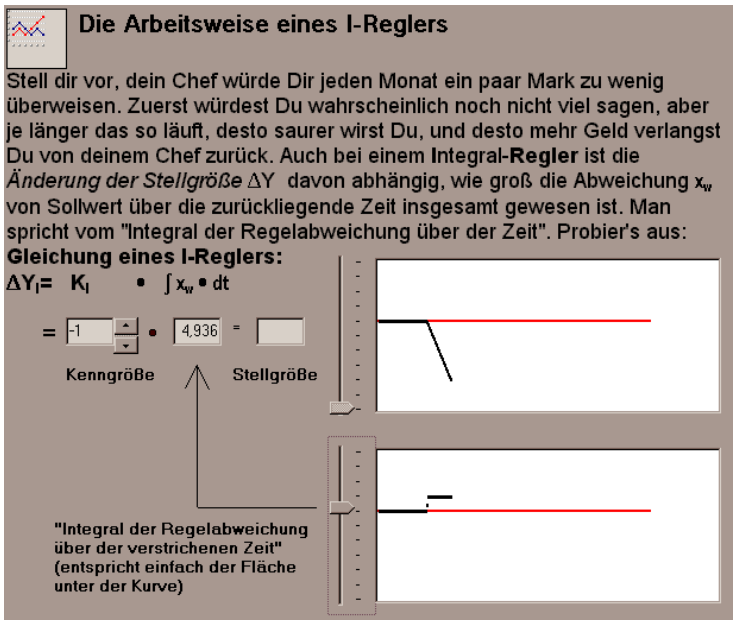
Begründe jeweils Deine Entscheidung! Welchen Regler/Welche Reglerkombination würdest Du wählen?

Aufgabe 4: Programmierung von Reglern.

Bei der Programmierung des PD-Reglers wurde ein Programm entwickelt und erprobt (steht dir während der Klausur zur Verfügung!). Es hat jedoch einen Nachteil: es wird nur ermittelt, ob seit der letzten Messung einer **Änderung der Regelgröße** (x-z) stattgefunden hat. Eine Regelabweichung kann aber auch entstehen, wenn jemand plötzlich den **Sollwert** ändert!

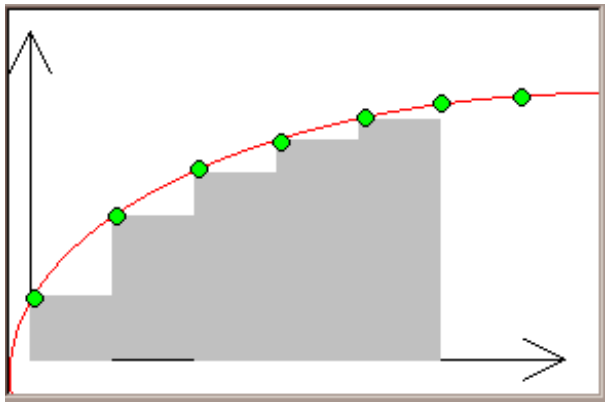
Wandle das Programm so ab, dass der D-Anteil des PD-Reglers auch auf eine solche Änderung reagiert, also tatsächlich einer plötzlichen Änderung der Regelabweichung entgegenwirkt.

Erstelle mit Hilfe der aus dem Lernmodul entnommenen Informationen das Programm für einen Integral-Regler („I-Regler“). Erstelle zunächst den Programmablaufplan, dann das eigentliche Programm. Ein Vergleich mit Aufgabenteil a) ist sicher hilfreich.



Numerische Integration mit der Rechteckregel

Der Computer weiß auch nicht, wie man die Stammfunktion einer Funktion f(t) ermittelt. Aber eigentlich ist das bestimmte Integral einer Funktion f(t) ja nur die Fläche zwischen der Funktion und der x-Achse. Und an die kann man auch einfacher herankommen.



Betrachte die Grafik rechts: Man kann die Fläche unter der Kurve einfach in viele Rechtecke zerlegen. Alle Rechtecke haben schon mal die gleiche Breite dt auf der t-Achse. Die Höhe wechselt allerdings, je nachdem, wie groß der Funktionswert f(t) an dieser Stelle gerade ist (Punkte). Aber den kann der Computer ja einfach durch Einsetzen ausrechnen.

Wenn man einen Integralregler programmieren will, ist das Einsetzen noch nicht einmal nötig. Denn die Kurve wird dann nicht von irgendeiner Funktion, sondern von den Messwerten des A/D-Wandlers bestimmt. Es reicht also, wenn das Programm in regelmäßigen zeitlichen Abständen dt einen Messwert vom A/D-Wandler erfasst. Das kann man zum Beispiel von einem „Timer Control“ erledigen lassen, dass auf ein „Intervall“ der Länge **dt** eingestellt ist. Die Breite des Rechteckes auf der t-Achse ist dann eben **dt**, die Höhe wird durch den Messwert vorgegeben. Normalerweise addiert man anschließend alle errechneten Flächen zusammen. Bei einem I-Regler will man aber ständig auf dem laufenden sein, wie groß die Fläche der Kurve gerade ist. Am besten deklariert man dazu eine Variable - nennen wir sie mal I - und addiert das Ergebnis der jeweils letzten Rechnung immer wieder zu dieser Variablen dazu, so dass sie praktisch „ständig mitwächst“. Das geht bei Visual Basic mit der - für einen Mathematiklehrer völlig illegal aussehenden - Zuweisung:

$$I = I + \text{neuer Wert}$$

Was für I herauskommt, ist schon fast der Stellwert des I-Reglers. Probier es einfach mal aus. Zeichne dazu zunächst ein Flussdiagramm, das den in diesem Text beschriebenen Ablauf wiedergibt.

5.4.8 Reflexion des Einsatzes der Komponentenorientierten Lernsoftware im Technikunterricht

Als wesentlicher Kritikpunkt ist deutlich geworden, dass die längeren Texte des Lernmoduls, die wesentliche Hinweise insbesondere zur Programmiertechnik enthalten, bei einigen Gruppen kaum Beachtung gefunden haben. Es war bei jeder einzelnen Gruppe notwendig, die Schüler durch gezielte Aufforderung zum Lesen des entsprechenden Textes zu bringen. Zum Teil gaben die Schüler (zu recht) vor, dass das Lesen eines längeren Textes vom Bildschirm sehr anstrengend wäre. Zum Teil ist aber auch zu befürchten, dass die Schüler durch die vergleichsweise höhere Attraktivität der bewegten Darstellungen dazu bewogen wurden, Hinweise zur Lösung eher dort als im Text zu suchen.

Es wäre nun ein denkbarer Weg, nach Möglichkeit alle textlichen Darstellungen durch grafische Darstellungen, womöglich durch Animationen o.a. zu ersetzen. Dies geschieht in vergleichbarer Form im Lernprogramm zu Microsoft Word 5.0: Bei der Arbeit mit Texten fügt hier der Computer Zeichenweise den Text auf dem Bildschirm ein; besonders relevante Stellen werden durch Pfeile markiert und kommentiert.

Es wäre also möglich, bei der Beschreibung von Programmieranweisungen und von Beispielprogrammen ähnlich zu verfahren. Neben dem hohen Aufwand bei längeren Texten und einem sicherlich zu erwartenden Abnutzungseffekt hat dies auch Nachteile für den Schüler: auf diese Art würde er durch die Computertechnik sogar beim Lesen, eigentlich einer Urform des selbstgesteuerten Lernens, in eine passive Rolle gebracht; er muss sich bei Tempo und Reihenfolge seines Lesens der Vorgabe des Computers unterwerfen.

Darüber hinaus muss man sich fragen, ob man die Texte eigentlich ersetzen will; schließlich findet sich der absolute Großteil des menschlichen Wissens in Schriftform gespeichert. Die Fähigkeit zur Aufnahme komplexer Informationen aus - auch längerem - Schriftgut ist ein wesentlicher Teil der Studierfähigkeit. Weiterhin bezeichnet der Begriff Multimedia „die Integration von Text, Graphik, Pixelbildern, Video und Audio“[176]. Damit verbietet es sich nicht automatisch, längere Texte in Multimedia-Lernumgebungen zu integrieren.

Der hier gegangene Weg ist daher meiner Meinung nach zu rechtfertigen. Es konnte gezeigt werden, dass die Schüler aus dem multimedial codierten Informationsangebot alle wichtigen Grundlagen der Regelungstechnik, deren Vermittlung das Ziel der Unterrichtsreihe war, entnehmen konnten. Dies zeigt sich vor allem an der auffällig guten Beteiligung an den Diskussionen mit der hohen Qualität der Beiträge; es zeigt sich weiterhin am guten Abschneiden der Lerngruppe in der Klausur.

Weiterhin weist die Analyse der Zugriffs-Statistiken auf eine Überforderung der Schüler an einer bestimmten Stelle hin. Während das Vorgehen der Gruppen bei der Beantwortung der Leitfragen äußerst planmäßig wirkt, setzen bei der Suche nach Informationen zur Durchführung der Versuche bei 2 von 3 Gruppen heftige Suchstrings ein, die sich quer durch das

---

[176] Hornung, C.: PC-basierte Multimedia-Systeme. In: Glowalla, U.; Engelmann, E.; Rossbach, G. (Hrsg.): Multimedia '94. Grundlagen und Praxis. Berlin: Springer, 1994. Seite 2.

Informationsangebot ziehen. Das deutet darauf hin, dass die Schüler noch Schwierigkeiten haben, gezielt die für sie notwendigen Informationen zu finden.

Bei der am stärksten betroffenen Gruppe „Schlecht“ lässt sich das Problem aber auf die nachlässige Bearbeitung der Leitfragen zurückführen, die ja primär dazu dienen, die Schüler mit der Struktur des Informationsangebotes vertraut zu machen. Im Sinne einer Schadensbegrenzung hätte sich hier eine von mir bei der Planung verworfene Idee als Problemlösung heraus stellen können, nämlich bei den Aufgabenstellungen zu den Versuchen gleich ein Verzeichnis der bei diesem konkreten Versuch hilfreichen Informationskarten beizufügen.

Auf der anderen Seite wäre es in diesem Fall nicht möglich gewesen, die mangelhafte Kenntnis der Informationsstruktur der Gruppe aufzudecken. Bei der Gruppe „Platoon“ reichte ja der aus diesem Grund gegebene Hinweis, doch auch mal die längeren Texte der Karten zu lesen, aus; die Zugriffsstatistik weist von da an bereits einen wesentlich planvolleres Vorgehen auf.

Im Rückblick empfinde ich es sehr **positiv**, dass ich mich, nachdem mich das Lernprogramm von der Aufgabe der Wissensvermittlung entlastet hat, der Beobachtung der einzelnen Gruppen widmen konnte. Damit war es mir in der Phase „Vermittlung notwendiger Grundlagen der Elektrotechnik“ leicht möglich, Sabines Lernblockade durch ihr Verhalten wahrzunehmen, und ich konnte mir die Zeit nehmen, sie durch ein kurzes Gespräch gezielt zu unterstützen.

Als **negativ** habe ich es empfunden, dass es mir diese Form des selbstgesteuerten Lernens erschwert, noch während der Unterrichtszeit gezielte Betonung auf einzelne Punkte des Lernstoffes zu setzten. Ich habe es mir punktuell gewünscht, dass ich die vektorielle Berechnung der Lorentzkraft doch etwas auffälliger untergebracht hätte, da diese Passage des begleitenden Textes, wie erwähnt, kaum wahrgenommen wurde. Diese Betonung hätte aber unbedingt schon bei der Gestaltung des Informationsangebotes erfolgen müssen! Bei frontalem Unterricht kann ich leicht während meiner Ausführung besonders auf Punkte hinweisen, die mir in gerade diesem Moment wichtig erscheinen. Einen Videofilm kann ich anhalten, zurückspulen und auf bestimmte Passagen besonders Hinweisen, wenn sie mir gerade auffallen. Bei einem Arbeits- oder Informationsblatt, dass allen in einheitlicher Form vorliegt, kann ich ebenfalls leicht auf Textpassagen verweisen.

Um das gleiche im vorliegenden Fall zu erreichen, hätte ich:

1. Das selbstgesteuerte Lernen aller Gruppen unterbrechen müssen.

2. Den Gruppen auf komplizierte Weise beschreiben müssen, an welcher Stelle im Lernmodul die Information zu finden ist, die ich näher betonen möchte.

3. Denjenigen, die noch gar nicht zu dieser Stelle vorgedrungen sind, kurz aufreißen müssen, worum es hier überhaupt geht, damit sie meine Betonung überhaupt einordnen können.

4. In Summe hätte dies eine so empfindliche Störung des selbstgesteuerten Lernens bedeutet, dass ich davon abgesehen habe. Als Alternative kann man natürlich jeder einzelne Gruppe, während sie sich gerade mit der entsprechenden Karte des

Lernmoduls auseinandersetzt, einen kurzen Hinweis auf die interessanten Passagen geben.

Sehr **positiv** an der Form der Informationsdarstellung ist, dass für eine Diskussion stets alle nötigen Medien zur Verfügung stehen. Ich kann bei der Betreuung der Gruppen mit einem Mausklick auf Informationen einer zurückliegenden Lerneinheit zugreifen; alle notwendigen Darstellungsmittel, Skizzen und bewegte Grafiken sind sofort zur Hand und können eingesetzt werden. Hätte ich einen Videofilm benutzt, hätte ich diesen einlegen und spulen müssen; hätte ich Demonstrationsexperimente benutzt, hätte ich diese schnell wieder aufbauen müssen, um den gleichen Effekt zu erreichen. In der Regel muss man sich aber darauf beschränken, an den Film / das Experiment zu erinnern.

5.5 Vierter Teil: Einsatz Objektorientierter Modellbildung bei der Analyse technischer Systeme im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 10

5.5.1 Die Problemstellung:

- Modellierung eines nichtvernetzten Ampelsystems mit Hilfe des dUML-Zustandsdiagramms;
- Darstellung der des technischen Systems „vernetzte Ampelanlage“ mit Hilfe eines dUML-Zustandsdiagramms;
- Analyse eines vorhandenen technischen Systems: (Chat-Programm) mit Hilfe eines dUML-Aktivitätsdiagramms zum Erkennen vorhandener Problemlösungen.

Nachdem das Verhalten einer Verkehrsampel mit Hilfe des Zustandsdiagramms erfolgreich modelliert und in eine Simulationssoftware mit grafischer Oberfläche überführt werden konnte, wurde als nächstes Problem die Kommunikation der Ampeln untereinander behandelt. Hierzu musste zunächst die Übertragung kleiner Datenpakete über das TCP/IP Netzwerk, mit dem die Computer untereinander verbunden sind, thematisiert werden.

Als exemplarisches Beispiel wurde mit den Schülern ein Chat-Programm nachprogrammiert, das in einem einschlägigen Lehrbuch[177] zu Visual Basic gegeben war. Textnachrichten, die in die Textbox des Chatprogramms eingegeben werden, tauchen mit geringer Verzögerung auf der Oberfläche eines anderen Rechners im Netzwerk auf, wenn dort das gleiche Programm läuft.

[177] Doberenz 1999. Seite 1051.

Anschließend wurden die Symbole des Aktivitätsdiagramms (Aktivität, Übergang, Ereignis, Programmstart und Programmende) eingeführt. Damit wurde mit der Gruppe gemeinsam die folgende, noch unvollständige Darstellung des Verhaltens des Chat-Programms an der Tafel zusammengestellt:

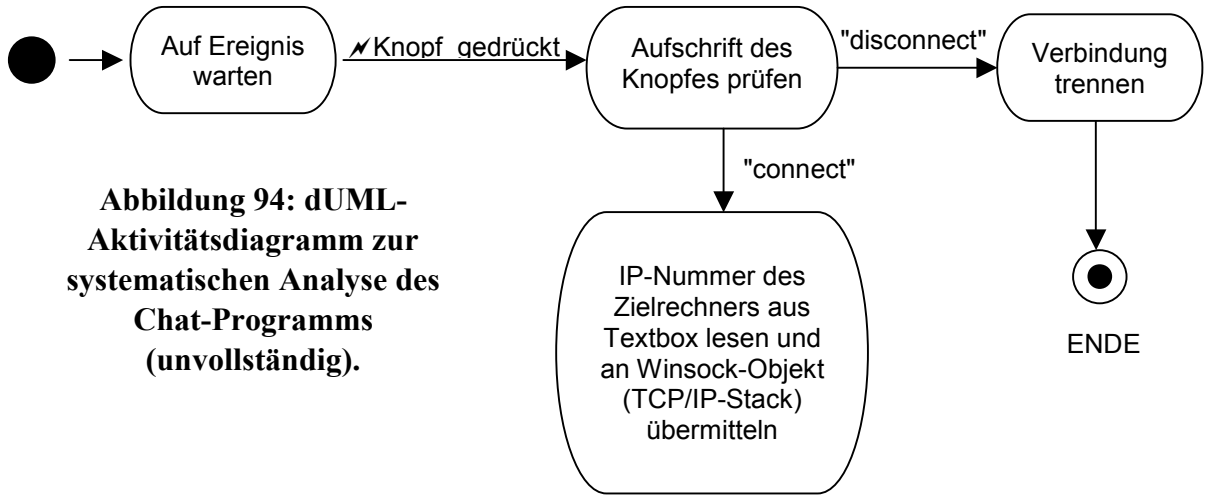


Abbildung 94: dUML-Aktivitätsdiagramm zur systematischen Analyse des Chat-Programms (unvollständig).

Die Arbeitsweise des Programms ist damit aber noch nicht vollständig beschrieben. Das Programm enthält als weitere Programmbestandteile noch Funktionen zum Senden von Textnachrichten und Routinen zur Fehlerbehandlung. Die Schüler sollten nun in Gruppenarbeit den weiteren Programmtext überprüfen, weitere Aktivitäten identifizieren und geeignet in das bereits vorhandene Aktivitätsdiagramm einfügen.

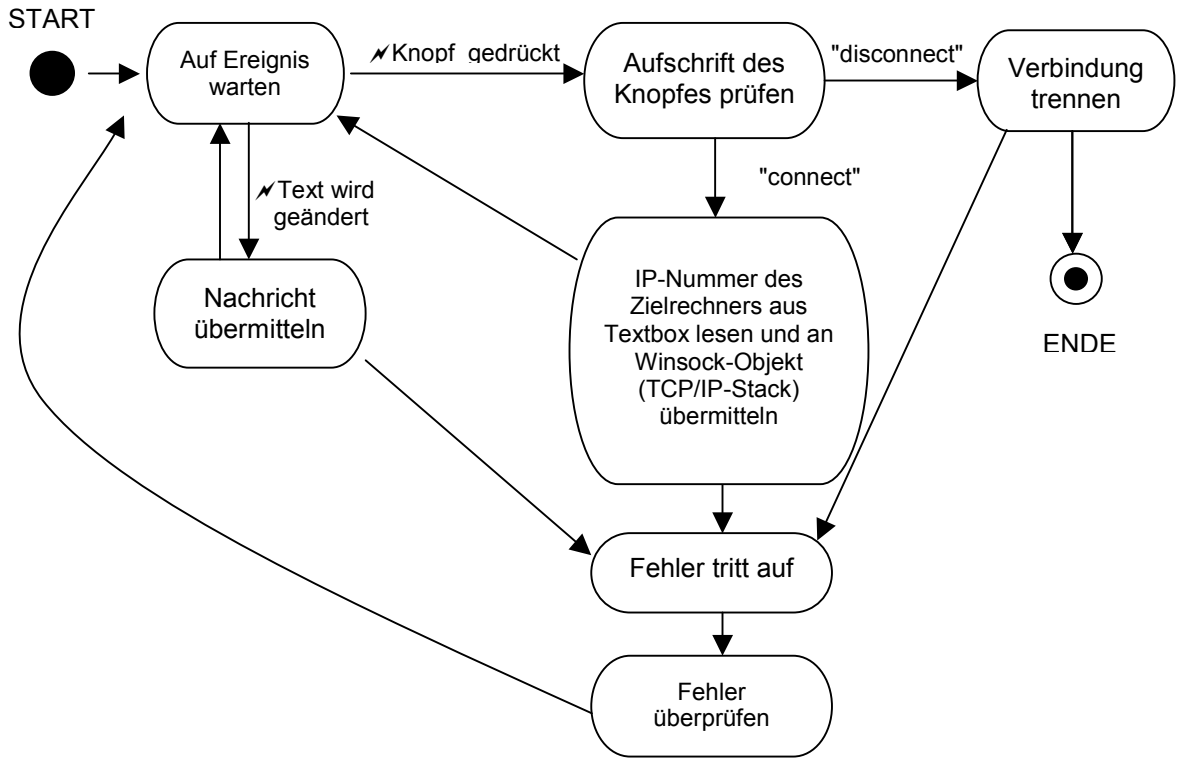


Abbildung 95: dUML-Aktivitätsdiagramm zur systematischen Analyse des Chat-Programms (vervollständigt).

Ein Vorschlag der Schüler hatte die in der Abbildung wiedergegebene Form. Bemerkenswert ist zunächst der Übergang, der von den Schülern von der Aktivität „Verbindung abbauen“ wieder zur Aktivität „auf Ereignis warten“ zurückführt. Die Schüler haben richtig erkannt, dass das Programm beim Abbau der ersten Verbindung nicht den Programmlauf einstellt; statt dessen kehrt das Programm in den Wartezustand zurück, von wo es auf eine Benutzeranforderung hin wieder eine Verbindung aufbauen kann. Allerdings muss bei einer bedingten Verzweigung zwingend eine Angabe gemacht werden, in welchem Fall welcher Übergang erfolgt. Generell macht es an dieser Stelle mehr Sinn, den direkten Übergang zum Programmabschluss zu verwerfen und statt dessen nur noch den direkten Übergang vom Abbau der Verbindung in den Wartezustand zu zeichnen.

Das Diagramm wurde in der Gruppe diskutiert; generell wurde zunächst bemängelt, dass durch die Fehlerbehandlung eine Vielzahl neuer Übergänge - von jeder anderen Aktivität zur Fehlerprüfung, und von da ggf. zur Fehlerbehandlung zum Diagramm kommen würde. Dadurch wirke das Diagramm nun sehr unübersichtlich.

Durch ein fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch wurde nun die Qualität der „Aktivität“ „Fehler tritt auf“ in Frage gestellt, die ja das Ziel der zahlreichen Übergänge darstellt. Nach einer kurzen Prüfung der Bedeutung der verschiedenen Symbole des Aktivitätsdiagramms wurde klar, dass „Fehler tritt auf“ keine Aktivität ist, sondern ein Ereignis - das Symbol wurde also in falschem Zusammenhang gebraucht.

Das Symbol und alle darauf verweisenden Übergänge wurden nun aus dem Tafelbild gelöscht, und es wurde zur Aufgabe gegeben, das Auftreten eines Fehlers nun wirklich als Ereignis zu integrieren und auch entsprechend zu behandeln.

Sehr schnell konnte dann an der Tafel ein korrigiertes Diagramm gefertigt werden:

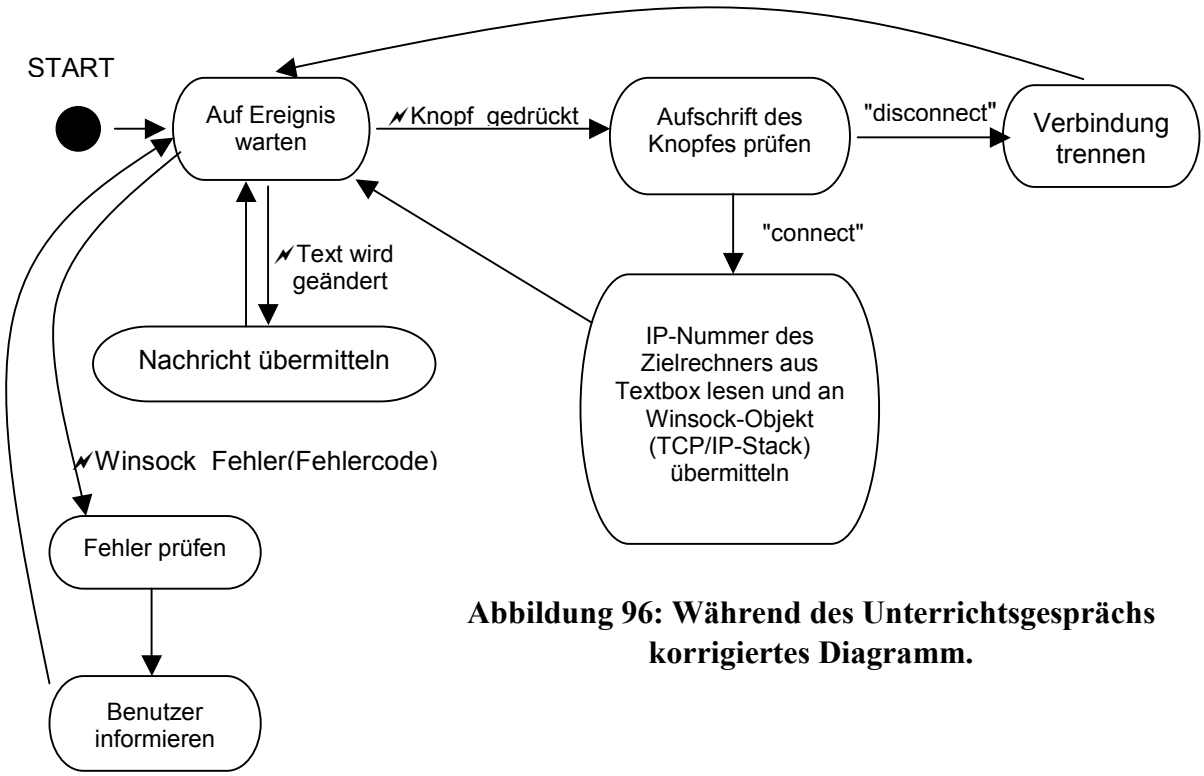


Abbildung 96: Während des Unterrichtsgesprächs korrigiertes Diagramm.

In der Lerngruppe war schnell Einigkeit, dass diese Darstellung wesentlich übersichtlicher ist, ohne an Inhalt zu verlieren. Es ist für die Anwendung nicht notwendig, den Zustand vor dem Eintreten eines Fehlers (die pre-condition) zu kennen, da der Auslöser des Fehler-Ereignisses bekannt ist[178] - nämlich der Winsock (Windows Socket), also die Softwarekomponente, die die Verbindung vom Programm zum TCP/IP Stack herstellt. Mit der Verschlankung des Diagramms zeigte sich der Lerngruppe anschaulich der Vorteil der ereignisgesteuerten Programmierung vor der prozeduralen Programmierung. Nun konnte das Programm realisiert und überprüft werden.

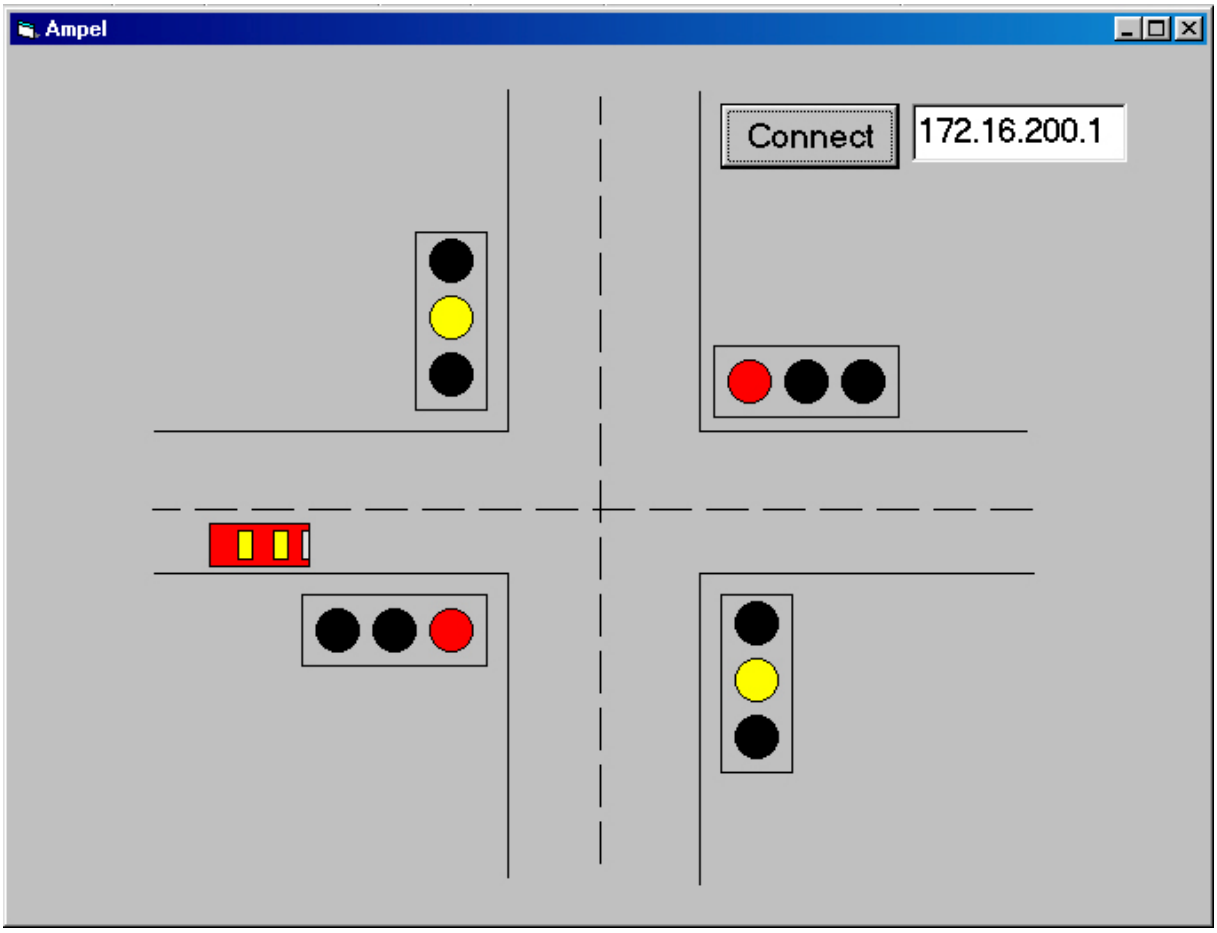


Abbildung 97: Die Oberfläche des von den Schülern programmierten Ampel-Steuerungs-Programmes. Über den TCP/IP Stack wird dem benachbarten Rechner gemeldet, wenn das Auto den Ampelbereich verlässt. Mit mehreren Rechnern in einer linearen Kette wurde eine zyklische Randbedingung hergestellt, die eine einfache Verkehrssimulation inclusive „grüner Welle“ ermöglicht.

[178] Der Window Socket übergibt bei Auftreten eines Fehlers der aufrufenden Methode einen Fehlercode, der detaillierte Angaben über die Art des Fehlers enthält.

5.6 Fünfter Teil: Vorschlag zum Einsatz Objektorientierter Modellierung für eine Unterrichtsreihe zur „Systemanalyse menschlichen Handelns“ in der Sozialwissenschaft oder zur „Operations Research“ in der Wirtschaftswissenschaft

5.6.1 Operations Research: Begriff und Herkunft

Operations Research (OR) ist primär ein Kind des zweiten Weltkrieges. Von den alliierten Truppen wurde Operations Research dort unter anderem eingesetzt:

- Zur Ermittlung der optimalen Größe für **N** Geleitzüge aus **n** Schiffen, der zur Sicherung gegen U-Boote von **m** Zerstörern begleitet werden musste. Feste Randbedingungen sind die Anzahl **M** der insgesamt in der Flotte zur Verfügung stehenden Zerstörer und die geschätzte Anzahl **X** der auf See befindlichen deutschen U-Boote, deren genaue Position jedoch unbekannt ist,

- zur systematischen Analyse der deutschen Luftangriffe auf England mit dem Ziel der Optimierung der Einsatzgruppengröße bei den amerikanischen und englischen Luftangriffen auf Deutschland,

- bei der Lösung zahlreicher logistischen Probleme der in dieser Form und Größenordnung neuartigen globalen Kriegsführung der Alliierten.

Nach dem 2. Weltkrieg verlagerten sich die Schwerpunkte der OR-Anwendungen deutlich von militärischen auf wirtschaftliche Probleme. Operations Research wird heute definiert als die „modellgestützte Vorbereitung von Entscheidungen zur Gestaltung und Steuerung sozio-technischer Systeme“[179] oder als ein „auf praktische Anwendung mathematischer Methoden ausgerichteter Wissenszweig“, der sich „mit der Problemanalyse und Vorbereitung optimaler Entscheidungen in Organisationen befasst.“ Dabei sei OR geprägt durch die „Zusammenarbeit von Mathematik, Wirtschaftswissenschaft und Informatik“[180].

5.6.2 Nichtlineare Optimierung in der Operations Research

Nichtlineare Optimierungsmodelle (NLO-Modelle) stellen die allgemeinste Klasse von Problemen des OR dar.

Die bessere mathematische Erfassbarkeit linearer Zusammenhänge und die Existenz von allgemeinen Algorithmen zu deren Lösung (z.B. dem Simplex-Algorithmus) bringt es mit

---

[179] Müller-Merbach, H.: Operations Research. Methoden und Modelle der Optimalplanung, München 1989. Zitiert nach: Ellinger, Th.; Beuermann, G.; Leisten, R.: Operations Research - Eine Einführung. Heidelberg: Springer, 4. überarb. Auflage 1998, Seite 2.

[180] OR News, Mitgliederzeitschrift der Gesellschaft für Operations Research (GOR) e.V., März 1998. Zitiert nach: Ellinger, Th.; Beuermann, G.; Leisten, R.: Operations Research - Eine Einführung. Heidelberg: Springer, 4. überarb. Auflage 1998. Seite 2.

sich, dass den meisten in der Fachliteratur diskutierten Problemstellungen **lineare** Zusammenhänge zugrunde gelegt werden. Zur Lösung von Problemen mit **nichtlinearem** Hintergrund existieren keine solchen allgemeinen Algorithmen[181]. Tatsächlich werden in der Wirtschaftswissenschaft, genauso wie in der Physik, jedoch zahlreiche Probleme von nichtlinearen Zusammenhängen bestimmt.

Die Existenz von leistungsfähigen Desktop-Computern macht es heute möglich, statt einer geschlossenen Lösung eine iterative Simulation als Ansatz zu wählen. Eine Simulation mit einfachem Aufbau und bewusst gering gehaltenem mathematischen Hintergrund kann problemlos im wirtschaftswissenschaftlichen Unterricht der Jahrgangsstufe 10 oder der gymnasialen Oberstufe thematisiert werden und stellt dennoch die Lösung eines anspruchsvollen Problems der OR dar.

5.6.3 Skizze einer möglichen Unterrichtsreihe

Der Ablauf der Unterrichtsreihe soll, auf einer angemessenen Ebene, dem Ablauf der Objektorientierten Modellbildung entsprechen. Daher:

1. Wird zunächst eine objektorientierte **Analyse** eines vorfindbaren Systems vorgenommen.

2. Von der Lerngruppe ein in der Komplexität reduziertes **Objektorientiertes Modell** des Systems konzipiert.

3. Mit Werkzeugen zur Objektorientierten Programmierung wird das Objektmodell in eine **Software-Simulation** überführt.

4. Das Verhalten der Software-Simulation wird mit in der Realität erhobenen Werten verglichen und damit zunehmend besser an die **Realität** angepasst.

5.6.3.1 Analyse

Exemplarisch soll hier ein nichtlineares Optimierungsmodell dargestellt werden, das den Absatz von Mobilfunktelefonen eines derzeit besonders modischen Typs (Nokia 6210) beschreibt. Betrachtet wird das Kaufverhalten einer geschlossenen Gruppe von Benutzern, in diesem Fall einer Schulklasse. Dadurch wird der Vergleich mit dem realen Kaufverhalten einer realen Personengruppe möglich - also z.B. der Schulklasse, in der die Unterrichtsreihe stattfindet.

---

[181] Vgl.: Ellinger, Th.; Beuermann, G.; Leisten, R.: Operations Research - Eine Einführung. Heidelberg: Springer, 4. überarb. Auflage 1998. Seite 185.

5.6.3.2 Konzeption des Objektmodells

Durch Variation verschiedener Parameter - Produktpreis, „Begehrlichkeit“ des Produktes, durchschnittliches Taschengeld der Schüler - ist es möglich, das Software-Modell weitgehend an das reale Kaufverhalten der Schüler anzupassen.

Eine besonders interessante sozialwissenschaftliche Komponente erhält das Modell, wenn man durch das Hinzufügen eines „Sozialneid“-Faktors eine Kopplung zwischen den einzelnen Mitgliedern der Schulklasse herstellt. Im hier betrachteten Modell wird die „Begehrlichkeit“ eines bestimmten Handy-Modells für alle Schüler der Klasse erhöht, wenn ein Mitschüler der Klasse ein Handy dieses Modells erstanden hat. Voraussetzung, dafür ist, dass der „Sozialneid“-Parameter“ eine von 0 verschiedene Einstellung erhält. Je nach Stärke des „Sozialneid“-Parameters treten explosionsartige Erhöhungen des Handy-Absatzes in der simulierten Schulklasse auf. Damit wird das Modell auch für den Einsatz im sozialwissenschaftlichen Unterricht brauchbar und erklärt dort Phänomene wie:

- die bekannte „Frühjahrsmode“, und andere Modeerscheinungen,
- die Existenz von Lifestyle-Produkten,
- sozialpsychologische Probleme wie z.B. den Gruppenzwang.

Gruppenzwang, hier in seiner Ausprägung als Konsumzwang, ist für Jugendliche immer ein ernstzunehmendes Problem gewesen, das bis zum psychischen Komplex oder bis zur Angst vor sozialer Ausgrenzung führen kann. Auf der anderen Seite zeigt die Simulation, welch ein mächtiger Wirtschaftsfaktor der Sozialneid darstellt. Die Auseinandersetzung mit dieser Simulation könnte, im Unterricht geeignet eingesetzt, das Bewusstsein von Jugendlichen dafür schärfen, wie gut Konzerne das Spiel mit Mode, Image und Neid zur Verbesserung ihrer Absatzlage zu nutzen verstehen.

5.6.3.3 Der Aufbau der Software-Simulation

Der Markt für Mobilfunkgeräte, so wie er in der Simulation dargestellt wurde, besteht aus 3 Klassen von Objekten und den daraus abgeleiteten Instanzen:

- Der Klasse „Firma“. Die Firmen stellen die Geräte her und liefern sie an den Handel. Gleichzeitig richten die Firmen regelmäßig Werbung für ihr Produkt an die Kunden. In der Simulation existiert derzeit nur eine Firma, die mit dem Namen „Nokia“ bezeichnet wurde. Es liegt also ein Monopol vor.
- Der Klasse „Handel“. Die Kunden beziehen die Geräte aus dem Handel. In der Simulation führt der Handel gleichzeitig Buch über die bisher verkauften Geräte, und tätigt in regelmäßigen Abständen Umfragen, die das bei den Kunden vorhandene Kaufpotential erheben. In der Simulation ist der Handel die zentrale Instanz, die den Takt für die übrigen Ereignisse eines Produktionsmonates vorgibt
- Die Klasse „Kunde“. Von der Klasse „Kunde“ können nach Maßgabe des Benutzers der Simulation bis zu 500 Objektinstanzen abgeleitet werden. Die Objekte werden bei

der Instantiierung mit fortlaufenden Nummern (1-500) versehen. Das Objekt Kunde(0) dient als Vorlage auf der grafischen Benutzerschnittstelle und tritt nicht als sichtbares Objekt in Erscheinung.

Ein Kunde reagiert auf die Werbung durch die Firma:

- Mit dem Kauf eines Gerätes, wenn die Kunden:
  - über einen ausreichenden Bedarf und
  - über ausreichende Geldmittel verfügen.
- Mit dem Ansparen ihres Taschengeldes, wenn sie:
  - ausreichenden Bedarf haben, aber
  - nicht über ausreichende Geldmittel verfügen.
- Gar nicht, das heißt: sie verbleiben in einem Wartezustand, wenn sie:
  - keinen ausreichenden Bedarf haben.

Das Maß für den Bedarf einer Person am Besitz eines Mobiltelefons wird in der Einheit DM gemessen. Es ist ein Maß dafür, wie viel die Person für die Nutzung eines Mobilfunkgerätes zu zahlen bereit ist: Hat eine Person einen Bedarf von bis zu 700 DM an der Benutzung eines Mobilfunkgerätes, wird sie ein für 580 DM angebotenes Mobilfunkgerät kaufen, wenn keine anderen Gründe dagegen sprechen. Widersprechende Gründe wäre der Mangel an Ressourcen (Geld), oder die Existenz von günstigeren Anbietern. Die Existenz von günstigeren Anbietern wird in der Simulation durch die Annahme eines Monopolmarktes ausgeschaltet; die Existenz der Ressource ist ein wichtiger Teil der Simulation, da auch in der realen Schulklasse die Höhe der i. d. R. von den Eltern zur Verfügung stehenden Ressource nicht nur stark das Kaufverhalten beeinflusst, sondern auch insgesamt ein Sozialfaktor von durchgreifender Bedeutung ist[182].

Im Ausgangszustand der Simulation wird der Bedarf der Mitglieder durch einen Zufallsgenerator auf einen Wert zwischen 0 DM und 1000 DM eingestellt. Das Bedürfnis ist gleichverteilt; bei einem angenommenen Preis von 500 DM (entspricht einem Markengerät zuzüglich der monatlichen Festkosten bei einer Vertragslaufzeit von 2 Jahren) und einer genügend großen Anzahl von Schülern hätte die Hälfte der Schüler der Klasse Bedarf an einem Gerät, die andere Hälfte nicht. Der Zeitpunkt zum Kauf eines Gerätes ist dann nur davon abhängig, ob der Schüler bereits über genügend Ressourcen zum Kauf eines Gerätes verfügt oder erst Taschengeld ansparen muss.

Das Taschengeld, das den Schülern innerhalb eines Monates zugewiesen wird, wird ebenfalls beim Start der Simulation mit Hilfe eines Zufallsgenerators gleichverteilt und für die Dauer der Simulation zugewiesen.

---

[182] In meinen Schulklassen an der Willy-Brandt-Schule wurde bei stichprobenhafter Befragung deutlich, dass eine Vielzahl der Schüler im erschreckend hohen Umfang Nebentätigkeiten ausführen, um trotz geringer von elterlicher Seite zur Verfügung stehender Ressourcen im Konsumverhalten „mithalten“ zu können. Die Befragung geschah vor dem Hintergrund, dass Schüler als Grund für nicht gemachte Hausaufgaben Terminschwierigkeiten angaben, die nachweislich durch ihre zahlreichen Jobs entstanden sind. Einige Fachlehrer der Gesamtschule nehmen daher von Hausaufgaben Abstand, weil dies ihrer Auffassung nach sozial schwächere Schüler benachteiligt, die die Gelegenheit zum Anfertigen der Hausaufgaben nicht im gleichen Maß wie die Kinder reicher Eltern finden und demzufolge im Unterricht abfallen würden.

Bei Vernachlässigung des Neideffektes - der Parameter „Sozialneid“ verbleibt auf 0 - werden die Schüler, die effektiv Bedarf an einem Gerät haben:

1. sofort ein Gerät kaufen oder
2. anfangen, ihr Taschengeld anzusparen, und dann sobald wie möglich zum Kauf schreiten.

Schüler, die keinen effektiven Bedarf an einem Gerät spüren, werden nicht kaufen und auch nicht dafür ansparen. Die Anzahl der verkauften Geräte ist somit lediglich von dem zu Beginn der Simulation eingestellten Bedarf (und dem Gerätepreis) abhängig. Früher oder später ist der Markt gesättigt, d. h. nachdem der Bedarf dieser Schüler gedeckt ist, ließen sich nur über eine Preissenkung neue Käufer erschließen.

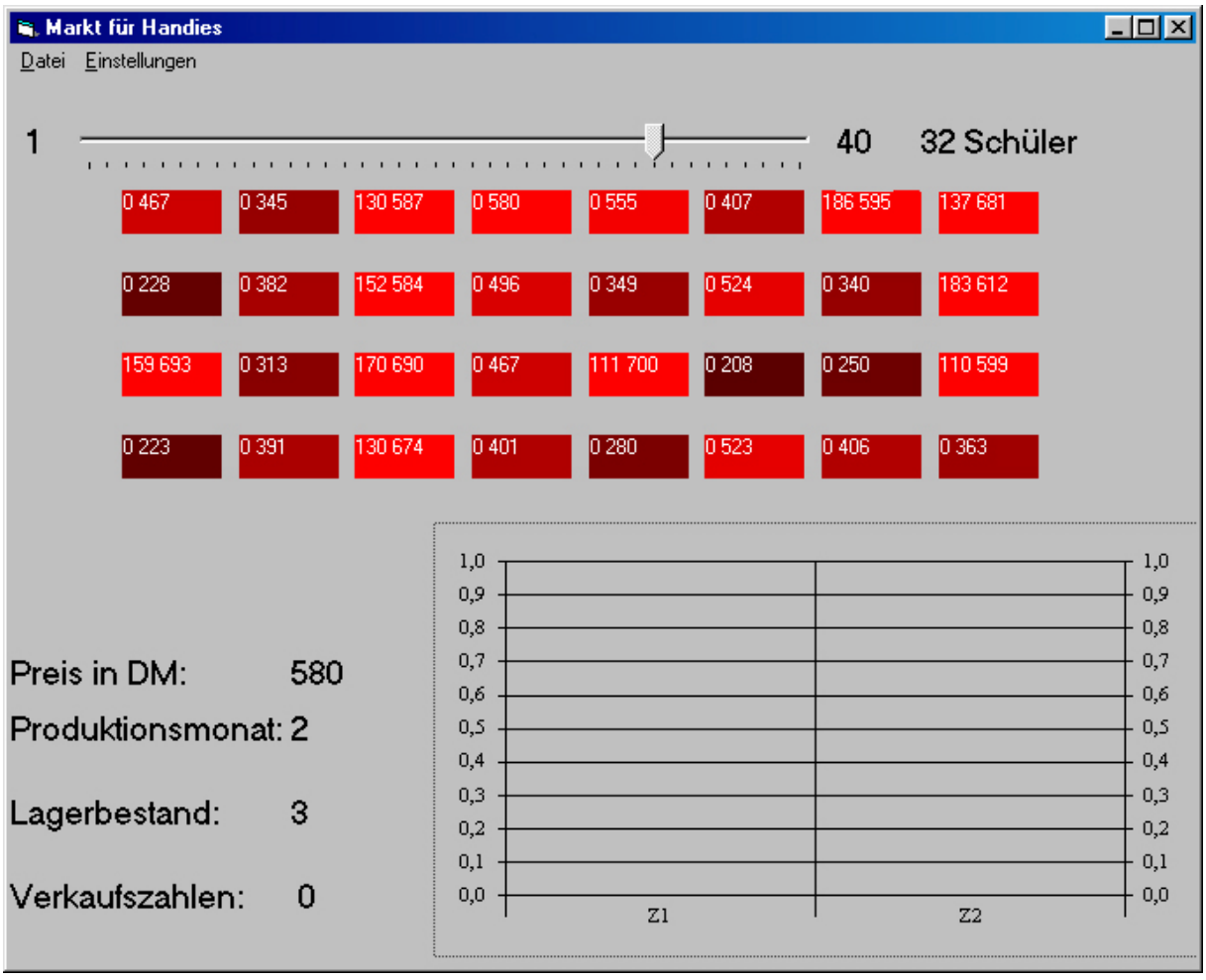


Abbildung 98: Die Simulation bei ihrem Start. Jedes Kästchen symbolisiert einen Schüler, mit seinem Ersparten (linke Zahl) und seinem, in DM ausgedrückten, Bedarf an einem Mobilfunkgerät. Die Schüler haben vom Zufallsgenerator ein Startgeld zwischen 0 DM und 186 DM zugewiesen bekommen. Stark unterschiedlich ist der bei den Schülern vorhandene Bedarf an einem Mobilfunkgerät. Dieser Startwert wurde ebenfalls vom Zufallsgenerator gewählt.

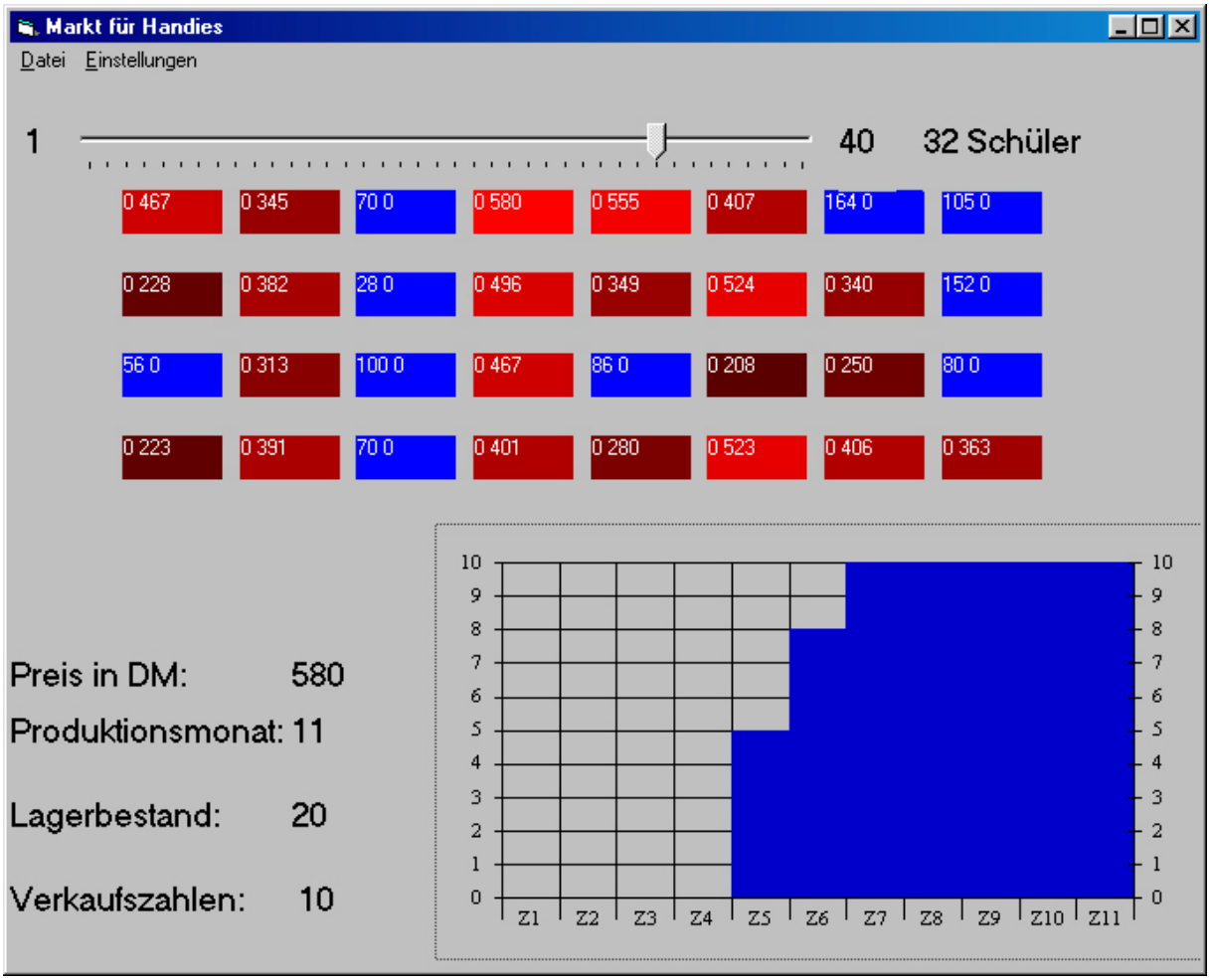


Abbildung 99: Das Ende dieser Simulation im Zeitraum Z11. Mittlerweile haben sich 10 der 32 Schüler nach einer Periode des Sparens ein Mobilfunkgerät gekauft (blaue Kästchen). Ihr Bedarf ist gedeckt (0 DM), ihr Konto entsprechend leer. Die übrigen 22 Schüler haben gar nicht zu sparen begonnen und werden im Verlauf dieser Simulation auch nicht kaufen, denn ihr Bedarf – der Preis, den sie zu zahlen bereit sind – liegt unterhalb des von der Firma vorgesehenen Marktpreises. Die Firma ist also gezwungen, den Preis zu senken, wenn sie weitere Käufergruppen erschließen will.

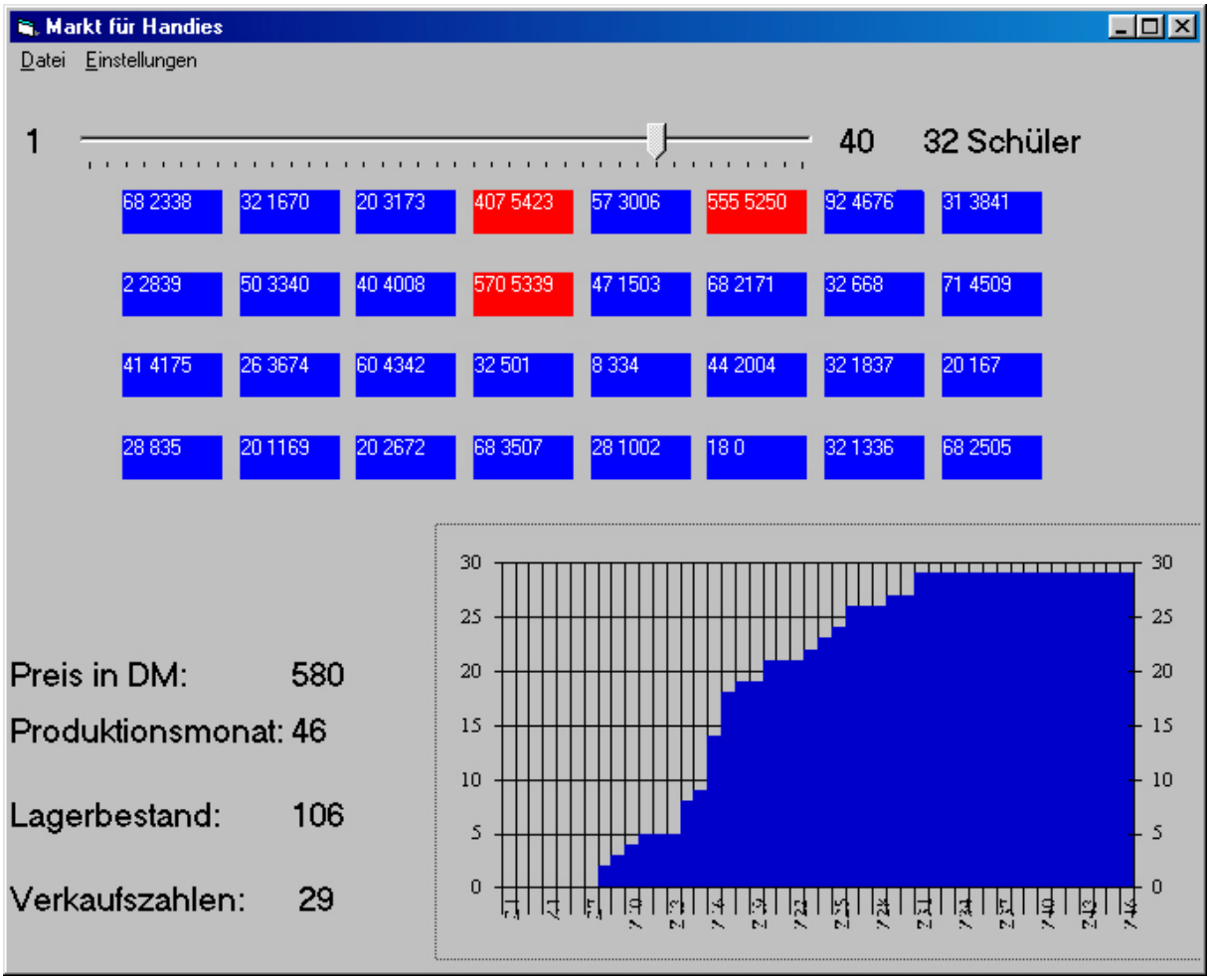


Abbildung 100: Der Simulationsverlauf nach Einführung des „Sozialneid“-Parameters.

Bei der Anwendung des Parameters wird von folgender Annahme ausgegangen:

Kauft ein Schüler der Gruppe ein Gerät, wird dies von seinen Mitschülern wahrgenommen. Dies erhöht bei den Mitschülern die „Begehrlichkeit“ des Gerätes: sie währen jetzt eher bereit, auch ein solches Gerät zu beschaffen. Der Bedarf der Schüler, ausgedrückt in der Einheit DM, steigt in irgendeiner Form.

In oben gezeigten Simulationslauf wurde als einfachster Ansatz der Bedarf jedes einzelnen Schülers um einen festen Beitrag erhöht. Ab einer bestimmten Höhe des einstellbaren Betrages werden nach mehr oder weniger langer Zeit (dies hängt von der Höhe des Betrages ab) alle Schüler erreicht. Der simulierte Neid, bzw. das Gefühl, eine Entwicklung zu verpassen, sorgt ab einem gewissen Schwellwert des Sozialneid-Parameters dafür, dass nach einer Weile alle Schüler einen Bedarf empfinden, der den Kaufpreis eines Gerätes überschreitet (hellrote Kästchen). Jetzt hängt es nur noch von dem (ebenfalls durch einen Zufallsgenerator bestimmten) Taschengeld der Schüler hab, wann ihr Gespartes ebenfalls den Kaufpreis eines Gerätes übertrifft und der Kauf stattfinden kann (die Grüne Markierung des Kästchens deutet an, dass hier ein Kauf unmittelbar bevorsteht und in der nächsten Runde statt finden wird.

In der Simulation sich die Verkäufe auch im 46. Produktionsmonat noch nicht zum Stillstand gekommen. Bis auf 3 Ausnahmen hat sich die gesamte Schulklasse mittlerweile ein Mobilfunkgerät gekauft. Der Bedarf der 3 verbliebenen Schüler ist mittlerweile, bedingt durch ihren

Sozialneid - denn sie sind mittlerweile die einzigen ohne Mobilfunk - sehr hoch geworden. Ihr fehlendes Ersparte, bedingt durch ihr vergleichsweise geringes Taschengeld, hindert sie aber daran, ein Gerät auf dem normalen Weg zu kaufen.

Hier wird unmittelbar der soziale Sprengstoff der Situation sichtbar: Geld steht nicht zur Verfügung; aber die Schüler wären bereit, einen hohen Preis für das Statussymbol zu bezahlen. Wie hoch muss jetzt die Schwelle sein, die die Schüler noch von einem Diebstahl trennt? Wie hoch ist jetzt das Risiko, dass in dieser Klasse 3 junge Menschen straffällig werden?

5.6.3.4 Erprobung und Abgleich mit der Realität

Eine Schulklasse mit 20-30 Mitgliedern bietet ausreichende Möglichkeit für eine Reihe empirischer in-situ-Erhebung.

Das Beispielprogramm zeichnet die insgesamt verkauften Geräte in einem Y(t)-Diagramm auf. Wie man sieht, entspricht die Kurve mit aktiviertem Sozialneid-Parameter in ihrem Verlauf einer Sigmoid-Funktion, mit den 3 Phasen

- Markteinführung - Anlaufzeit ohne starke Verkäufe,
- verkaufsstarker Zeitraum – der „Durchbruch auf dem Markt“,
- und Marktsättigung.

Es ist denkbar, in der Lerngruppe mit einer internen Umfrage den Verlauf der Markeinführung eines vergleichbaren Trendproduktes[183] zu bestimmen, und mit dem Verlauf der Kurve zu vergleichen. Dabei können, ohne Indiskretionen von den Schülern zu verlangen (z.B. über die Höhe des Taschengeldes bei jedem einzelnen) die wesentlichen Eckpunkte der drei Phasen bestimmt werden – nämlich die tatsächlich verfügbaren Geräte.

Die Sozialparameter in der Software - Taschengeld, Taschengeldstreuung und Sozialneid - können in der Folge von den Schülern variiert werden, bis das Software-Modell in seinem Verhalten dem realen Verlauf in zufriedenstellender Weise entspricht. Im Anschluss ist reichlich Gelegenheit zur Diskussion gegeben.

Auch das zugrundeliegende Modell kann an einigen Punkten modifiziert werden. Insbesondere sind mehrere Variationen sind denkbar, wie der Faktor Sozialneid zu einer Veränderung der persönlichen Bedarfswahrnehmung führen kann:

1. Der Kauf eines Gerätes steigert den Bedarf aller Schüler der Klasse um einen bestimmten Betrag.
   Vorteil: besonders einfach zu realisieren
   Nachteil: bei einer großen Gruppe steigt der Bedarf der einzelnen Schüler nach einigen Käufen auf unrealistisch hohe Werte

[183] Es muss kein Mobilfunkgerät sein, es kann sich z.B. auch um eine neue Spielkonsole handeln

2. Es wird ein unterschiedlich hoher Zusammenhalt der Schüler untereinander unterstellt. Kauft ein Schüler, der ein enger Freund ist, so steigert das den Bedarf stärker als wenn ein Mitschüler kauft, zu dem kein enges Verhältnis besteht.
   Vorteil: liefert für eine große Gruppe von Schülern wahrscheinlich realistischere Ergebnisse.
   Nachteil: es muss ein Faktor „Nähe" eingeführt werden, der sich nur sehr schwierig und nur mit bedenklichen[184] demoskopischen Untersuchungen in der Klasse erheben ließe. Weiterhin müsste für diesen Faktor eine Funktion Bedarfssteigerung = f(Kauf, Nähe) entwickelt und angepasst werden. Aufgrund der zahlreichen Variablen wird die Präzision des Instrumentes für große Gruppen damit wahrscheinlich nur scheinbar erhöht.

3. Die ersten Käufe, die von Mitschülern getätigt werden, beeinflussen das Kaufverhalten der Schüler in anderer Form als Käufe im Mittelfeld oder am Ende der Produktionszeit. So könnte das erste Gerät seiner Art von den Mitschülern noch als Exot betrachtet werden, während der Kauf des bereits „modisch" gewordenen Gerätes durch einen Bekannten bei den Mitschülern einen erheblich höheren Anpassungsdruck erzeugt.
   Vorteil: etwas einfacher anzupassen, da sowohl der Bedarf der Schüler an einem bestimmten Gerät innerhalb eines abgrenzbaren Zeitraums als auch die Anzahl der Käufe in diesem Zeitraum durch Längsschnittanalyse zu erheben ist.
   Nachteil: es sind nach wie vor mehrere Variablen zu betrachten, bei denen nicht klar ist, ob sie entkoppelt werden können.

4. Die Steigerung des Kaufbedarfes, der bei den Mitschülern durch einen Kaufvorgang ausgelöst wird, ist nicht von der Zeit unabhängig. So könnte der Neideffekt einige Zeit nach dem Kauf verblassen, während der effektive Bedarf eines Schülers aus unveränderlicheren Randbedingungen (Notwendigkeit der Erreichbarkeit, Wunsch nach mehr Mobilität) gespeist wird.
   Vorteil: eine weitere realistische Annahme zur Erhöhung der Abbildungsgenauigkeit des Modells.
   Nachteil: Bei dem real beobachtbaren Vorgang handelt es sich möglicherweise lediglich um eine Abwandlung des unter 3. diskutieren Effektes der zeit- und modeabhängigen Wahrnehmung. Möglicherweise haben alle bisher im Bekanntenkreis getätigten Käufe eines Gerätes eine geringere Bedeutung, wenn das Gerät beginnt allmählich selbstverständlich zu werden bzw. aus der Mode zu kommen. Es müsste daher untersucht werden, ob eine Funktion der Dimension: gesamte Steigerung des Bedarfes = f(gesamt getätigte Käufe, Zeit) insgesamt einfacher ist und genauere Ergebnisse liefert.

5. Jede denkbare Kombination der zwischen 1-4 beschriebenen Variationen.

---

[184] Prof. Brunner rät in seinen Vorlesungen an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg von „Beliebtheitsuntersuchungen" (die in den 70er Jahren häufig in Form von Soziogrammen durchgeführt wurden) ab, da sie nach seinen Erfahrungen für erhebliche und nachhaltige Störungen des Klassenklimas sorgen. Sie stellen damit insbesondere einen so starken Eingriff des Experimentators in den Beobachtungsgegenstand dar, dass sie vom Sinn her zweifelhaft erscheinen müssen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellte Methode der Objektorientierten Modellbildung soll als ein allgemeingültiger Weg zur Wahrnehmung und Strukturierung von Vorgängen und Zusammenhängen und den sie konstituierenden Elementen verstanden werden. Sie wurde mit besonderem Hinblick auf die Produktion von Lern- und Informationsmedien und speziell Software-Simulationen für die technische und naturwissenschaftliche Bildung entworfen, soll aber genauso als Methode zur Einführung von Jugendlichen in die grundlegenden Zusammenhänge physikalischer und technischer Systeme und Prozesse dienen können. Diese Doppelfunktion begründet sich aus meiner Überzeugung, dass die Erstellung von Software-Modellen dieser Vorgänge und Systeme selbst bereits ein bildungshaltiger Akt ist, in dem die Jugendlichen in einer gemeinsamen und produktorientierten Handlungen Modellvorstellungen ihrer Umwelt – im konstruktivistischen Sinne - erarbeiten und im Vergleich mit der Realität durch technische und physikalische Experimente quantitativ und qualitativ prüfen, optimieren und verifizieren können. Der Beschreibung und Überprüfung dieses Ansatzes ist diese Arbeit gewidmet.

Die hier nur kurz skizzierte Zielsetzung der Arbeit, nämlich der Entwurf und Erprobung der Objektorientierten Modellbildung als Konzept für den Physik- und Technikunterricht und für die Produktion von Lern- und Informationsmedien für die naturwissenschaftliche und technische Bildung, ist in Kapitel 1 der Arbeit näher beschrieben worden. Die Planungsphase umfasste die in Kapitel 2 unternommene Analyse des Begriffes „Modellbildung“ aus wissenschaftstheoretischer Sicht, die vor allem aus dem Studium der Quellen Möller, Harreis, Popper, Grüner, Vester und Ward/Mellor schöpfte. Nach dieser Grundlegung wurde im Kapitel 3 eine vertiefte Studie der Konzepte und Methoden zur Modellbildung und Modellerstellung in den Bezugswissenschaften Physik, Technologie und Informatik angestrengt. Wichtige Quellen für diese Studie waren Schriften von Goldkuhle, Harreis, Treitz, Schecker, Meadows, Forrester, Heuer, Bader, Sanfleber, Arp, Beckmann, Haupt, Sauer, Schmayl, Wilkening, Aebli, Dewey, Ropohl, Goorhuis, Rechenberg, Pomberger, Booch, Rumbaugh, Jacobson, Ward, Mellor, Brösser, Siedersleben, Yourdon, DeMarco, Beer, Wirfs-Brock und die Richtlinien der zugeordneten Fächer der gymnasialen Oberstufe.

Im Ergebnis wurde in allen drei Bezugswissenschaften Modellbildung als zentrale Methode

- zum wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn,
- zur Vorhersage von Handlungsschritten und Prozessergebnissen,
- und als wichtiger Teil von Lehr/Lernprozessen identifiziert.

Der Bedeutung der Modellbildung entsprechend haben alle drei Bezugswissenschaften ein eigenes Spektrum an Methoden, mit denen die Bildung von Modellen unterstützt wird. Dazu zählen:

a) Methoden zum Sammeln von Informationen,
b) Methoden zum systematischen Strukturieren von Informationen durch die eigentliche Modellbildung, und
c) Methoden der symbolischen Kommunikation, die sowohl während des Modellbildungsprozesses als auch im Anschluss zur Präsentation der Ergebnisse genutzt werden.

Im Vergleich wurden spezifische Unterschiede im Methodenspektrum der Bezugswissenschaften deutlich.

1. Die Physik stützt sich gemäß ihres Anspruches in hohem Maß auf quantitativ-beschreibende, analytische Modelle. Demzufolge besteht ein hoher Reifegrad an mathematischen Modellen und Modellierungswerkzeugen, verbunden mit entsprechenden grafischen Darstellungsverfahren. Eng damit verbunden ist eine ausgeprägte Kompetenz bei der Erstellung von Software-Modellen zur computergestützten Simulation naturwissenschaftlicher Prozesse. Hierbei wurde jedoch das Fehlen einheitlicher Standards deutlich, die die Kommunikation von Wissenschaftlern unterschiedlicher Ausrichtungen unterstützen könnten. Der für diese Arbeit besonders interessante Bereich der grafischen Darstellung von Wirkungszusammenhängen kennt eine Fülle verschiedener Darstellungsvarianten, von denen das Forrester-Schema der Modellierungssysteme STELLA und Dynasys und die davon deutlich unterschiedliche Symbolsprache des Programmpaktes PAKMA/VisEdit im Kapitel 3 exemplarisch beschrieben und verglichen wurden.

2. Demgegenüber sind in der Technikwissenschaft verbindliche Normen der technischen Kommunikation zu finden, die den Austausch von Modellen und Modellvorstellungen über die Grenzen der Ingenieurdisziplinen ermöglichen sowie Missverständnisse und ihre gefährlichen Folgen verhindern helfen. Ebenso existieren gut dokumentierte systematische Methoden zur Sammlung und Strukturierung von Wissen und zur Bildung und grafischen Repräsentation von Modellen, wie zum Beispiel:

   a) die Norm VDI 2222 (Konstruktionsmethodik) des Vereins Deutscher Ingenieure,

   b) das System der allgemeinen Technologie oder Techniklehre von Autoren wie Beckmann, Ropohl, Arp oder Wolffgramm

   c) das vor allem auf Lehr/Lernhandlungen bezogene Konzept der vollständigen Handlung, die im Prinzip ebenfalls die konsequente Anwendung konstruktionsmethodischer Ansätze darstellt.

   Bei näherer Betrachtung können die hier aufgezählten Methoden jedoch nicht verbergen, dass ihre Ursprünge in den siebziger Jahren oder noch weiter zurück liegen.

3. Die Informatik nutzte in den siebziger Jahren ähnliche Konzepte der Modellbildung und Modellerstellung. Im direkten Vergleich wird aber deutlich, dass diese Konzepte hier in der Zwischenzeit eine besonders starke Weiterentwicklung erfahren haben. Dies ging einher mit einem deutlichen Wechsel der grundsätzlichen Ausrichtung hin zum sogenannten Objektparadigma – eine Entwicklung, die in den Natur- und Technikwissenschaften nicht in dieser Deutlichkeit sichtbar ist. Inwieweit diese heutzutage ebenfalls sehr stark vom Einsatz von Softwaretechnologie geprägten Wissenschaften den gleichen Paradigmenwechsel nachvollziehen können oder sollen, ist eine der wesentlichen Fragen, die diese Arbeit aufwirft.

Für die letztgenannte Frage bedeutsam ist die ebenfalls im Kapitel 3 beschriebene, von der Informatik betriebene Entwicklung hin zu einer „Unified Modeling Language“ UML. Beim

Besuch von Fachtagungen und Workshops, z.B. denen des Universitätsverbundes Multi Media des Landes NRW, wird dem Betrachter deutlich, dass UML derzeit Einzug in die Projekte verschiedener Ingenieurwissenschaften hält. Erwartungsgemäß geschieht dieser Einzug zunächst vornehmlich im Rahmen der Entwicklung der nötigen Software z. B. zur Prozessleittechnik. Da damit UML bereits eine hohe Verbreitung in allen technikwissenschaftlichen Disziplinen erreicht, erscheint es sinnvoll und zwangsläufig, dass UML früher oder später auch für nicht-softwarebezogene Probleme genutzt werden wird und dadurch den Status einer „lingua franca“ der Modellierung erreicht.

Das die Planungsphase bestimmende Studium des Modellbildungsbegriffes und der bereits bekannten Modellbildungsmethoden legte die Entscheidung für ein eigenständiges Konzept zur Systemanalyse und Modellbildung nahe, dass den folgenden Anforderungen entsprechen sollte:

1. Sowohl die Analyse als auch die Modellbildung sollen nach dem aus der Informatik entlehnten Objektparadigma erfolgen.

2. Analyse und Modellbildung sollen durch die Unified Modelling Language unterstützt und für das Lernen und Arbeiten in Gruppen kommunizierbar gemacht werden. Dafür musste eine gegenüber dem Originalentwurf vereinfachte Version von UML entwickelt werden, die den Einsatz des Konzeptes im Unterricht der Sekundarstufen I und II praktikabel macht.

3. Das Konzept soll sich direkt sowohl für die technische wie auch für die naturwissenschaftliche Bildung eignen. Eine mögliche Implikation ist die Nutzung des Konzeptes als gemeinsames Gerüst für den fächerverbindenden Unterricht.

4. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Einsetzbarkeit des Konzeptes im Rahmen der Produktion von Lern- und Informationsmedien - einem nach meiner Auffassung besonders wichtigen Kompetenzfeld der Fachdidaktiken. Hierdurch wollte ich Verbesserungen bei einigen in der Medienproduktion besonders drängenden Problemen erreichen:

    a) Die Behebung von Kommunikationsschwierigkeiten zwischen Medien-produzenten und Fachexperten bei der Sachanalyse und der Auftragsgestaltung,

    b) Strukturierung der Informationsmenge und Identifizierung zentraler Inhalte,

    c) Erstellung einer klaren und präzisen Modellvorstellung zur möglichst frühzeitigen Abnahme durch den Auftraggeber/Fachexperten und als Grundlage der gemeinsamen Arbeit,

    d) die effiziente Herstellung einer Dokumentation und

    e) ein für alle Beteiligten transparenter Workflow in der Produktion.

Der Entwurf des Konzeptes geschah im zeitlichen und praktischen Zusammenhang mit der tatsächlichen Produktion von Lern- und Informationsmedien. Die Methode der formativen Evaluation wurde genutzt, um die Nutzbarkeit des Konzeptes bei der Produktion von Lern-

und Informationsmedien zu kontrollieren. So wurden die Erfahrungen aus dem ersten Einsatz des Konzeptes direkt ausgewertet und zur Verbesserung des Konzeptes genutzt. Das Konzept selbst wurde im Kapitel 4 am beispielhaften Einsatz bei der Produktion des Informationsfilms „Prüfstand für Kfz-Innenraumfilter“ (für das Fachgebiet Verfahrenstechnik der Universität Duisburg) dargestellt.

Zu den weiteren Projekten, die zur Entwicklung des Konzeptes genutzt und in denen das Konzept erfolgreich eingesetzt wurde, gehören:

- Das vom Universitätsverbund MultiMedia (UVM) des Landes NRW geförderte Projekt „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung“
- Der Informationsfilm „Rapid Prototyping“ für das Fachgebiet Fertigungstechnik der Universität Duisburg;
- Der Informationsfilm „Sicherheitssysteme für die Fahrer von Gabelstaplern“ für das Ingenieurbüro Weiner&Schröter.

Im Kapitel 5 wurde der Einsatz des Konzeptes, die Projektstruktur und das Projektergebnis im UVM-Projektes „Komponentenorientierte Lernsoftwareentwicklung“ exemplarisch dargestellt.

Die Eignung des Konzeptes der Objektorientierten Modellbildung für den Einsatz im Physikunterricht wurde ebenfalls im Kapitel 5 mit Hilfe einer umfangreichen empirischen Studie nachgewiesen. Dabei wurde die klassische Abfolge im Physikunterricht „Beobachtung von Experimenten und Ableitung einer erklärenden Theorie“ mit Hilfe des Konzeptes erfolgreich ersetzt durch die Abfolge „Phänomenologische Beobachtung, Objektorientierte Modellbildung am PC und quantitative Präzisierung durch Experimente“. Da die Theoriebildung – in Form der Modellbildung – somit vor dem Experiment erfolgen konnte, kann man von einem theoriegeleiteten und computerunterstützten Vorgehen der Schüler im Rahmen eines projektorientierten, problemlösenden Unterrichtes sprechen. Lernen wird hier wieder zu einem geistigen Abenteuer, bei dem das Gelernte als ein Produkt eigenen Schaffens verstanden wird. Mit dem durchgehenden Paradigma des finalen Handelns wurde auch eine stärkere Nähe zum Technikunterricht hergestellt, zumal die Objektorientierte Modellbildung durchgängig in eine vollständige Lernhandlung (mit dem Objektmodell als erweisbares und überprüfbares Produkt) eingebettet war .

Besonders hervorzuhebende Ergebnisse der empirischen Untersuchung sind:

- die sehr ausgewogene und erfreulich gute Beteiligung der Gruppe der Mädchen am Unterrichtsgeschehen und an der experimentellen Arbeit,
- der sinnvolle und ungezwungene Umgang mit Formeln bei der Problemlösung,
- der ebenso ungezwungene Umgang mit Büchern, die als Hilfsmittel für die Projektarbeit verstanden wurden.

Ebenfalls im Kapitel 5 wurde der Nachweis erbracht, dass sich mit dem Prinzip der Objektorientierten Modellbildung erstellte komponentenorientierte Lernsoftware erfolgreich

in eine Unterrichtsreihe des Technikunterrichtes integrieren lässt und mit den Konzepten des Technikunterrichtes harmoniert. Im gleichen Kapitel wurde auch ein typisches Beispiel für den Einsatz im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 10 beschrieben. Die Skizze einer möglichen Unterrichtsreihe im sozial- oder wirtschaftswissenschaftlichen Unterricht zeigte die prinzipielle Übertragbarkeit des Konzeptes der Objektorientierten Modellbildung auch auf nicht naturwissenschaftlich-technische Unterrichtsfächer.

Damit konnte die Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Konzeptes anhand der in der Planungsphase formulierten Kriterien mit positivem Ergebnis abgeschlossen werden.

Ausblick

Im Verlauf der Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich aus einer sehr grundsätzlichen Weltbetrachtungsweise, wie es die Objektorientierung darstellt, ein funktionsfähiges Denk- und Handlungsschema ableiten lässt, das tatsächlich in der Praxis zu nachweisbaren Verbesserungen führt. Aus der Sicht des Praktikers muss sich diese Arbeit allerdings auch einer Reihe anders gearteter Bewertungsfragen stellen:

„Lohnt sich der Aufwand?“ „Muss ich mich auf diese neue Art zu Denken einlassen?“ Und: „Komme ich damit schneller und/oder besser zum Ziel als mit der Art und Weise, die ich bisher immer verwandt habe?“

Als Antwort ergibt sich aus meiner Sicht:

„ Ja“ für denjenigen, der mit der Ausbildung von Lehrpersonal in der 1. oder 2. Phase der staatlichen Lehrerausbildung oder im Bereich der betrieblichen Aus- und Weiterbildung zu tun hat. Objektorientierte Modellbildung ist eine Methode, um die Welt zu sehen und seine Sicht der Welt zu vermitteln. Sowohl aus der konstruktivistischen Sicht („wie kann man sich gemeinsam mit anderen Lernenden in einer koordinieren Anstrengung eine Modellvorstellung schaffen?“) als auch aus instruktionalistischer Sicht („wie erklärt man, wie man ‚erklären’ kann?“) bietet die objektorientierte Modellbildung nun einen validierten Modus operandi.

„Ja“ für den Entwickler oder Projektleiter, der mit der Produktion von Lern- und Informationsmedien betraut ist. Die derzeit übliche Ausbildung in den Medienberufen bereitet aufgrund des fehlenden allgemein-technologischen Hintergrundes kaum auf die Anforderung vor, gemeinsam mit Spezialisten die visuelle Repräsentation komplexer technischer Systeme oder naturwissenschaftlicher Prozesse zu planen und zu entwickeln. Kommunikationsprobleme zwischen Medienentwicklern und Kunden führen am Projekt-Ende zur Unzufriedenheit auf beiden Seiten. Objektorientierte Modellbildung ist auf die Anforderungen von Medienentwicklern zugeschnitten und gründet dabei auf etablierten Standards wie Objektorientierung und der Unified Modeling Language UML. Damit bietet sich Objektorientierte Modellbildung als Vorgehensmodell an, das eine Grundlage für gemeinsame fachübergreifende Arbeit im Bereich der Medienentwicklung bietet.

„Ja“ für alle, die Schülern in der allgemeinen Bildung aufwuchsfähige methodische Grundlagen für das Leben in einer Medien- und Informationsgesellschaft vermitteln wollen. Wie das Spektrum an Gebieten zeigt, in denen in dieser Arbeit die

Konzepterprobung stattfand, ist Objektorientierte Modellbildung weder an bestimmte Fächer noch an bestimmte Gegenstände gebunden. Es handelt sich um ein betont allgemein gehaltenes Konzept, das aus praktischen Erfordernissen entstanden ist. Dabei bildet die Anwendung des Konzeptes selbst eine Lernhandlung, die Aufschluss auf die Denkweise gibt, die heutzutage den Aufbau unserer Informationsgesellschaft bestimmt. Objektorientierte Modellbildung und dUML bietet sich daher als zukunftsorientierte Alternative zur gängigen Praxis an, Schülerinnen und Schüler immer wieder neu in die Arbeit mit grundverschiedenen, spezialisierten und nur in bestimmten fachwissenschaftlichen Bereichen etablierten Modellierungssystemen einzuweisen.

Dem geneigten Leser wünsche ich, dass er selbst Informationen und Anregungen für seine Arbeit aus dieser Schrift entnehmen konnte.

7 Quellenverzeichnis

7.1 Literatur

Abbot, R.J.: Program Design by informal english descriptions. Communications of the ACM 26 (1983) 882-894.

Aebli, H.: Zwölf Grundformen des Lernens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Stuttgart: Klett-Cotta, 10. Auflage 1998.

Alspaugh, C.: Identification of some components of computer programming aptitude. In: Journal of Research in Mathematics Education 3.

Arp, H.: Grundkategorien technologischer Beschreibungen. In: tu - Technik im Unterricht, 15. Jg., Heft 59, 1991.

Arp, H: Vorlesungsskript zur allgemeinen Technologie (Didaktik der Technik IV). Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, 1994..

Bader, R.; Jenewein, K.: Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt: G.A.F.B. Verlag 2000.

Bader, R.; Sanfleber, H.; Schulze-Fröhlich, D.: Einführung in die allgemeine Technologie. Bochum: Kamp-Verlag, 1981.

Beck, K.: Extreme Programming Explained: Embrace Change. Reading, MA.: Addison Wesley, 1999

Beckmann, J.: Entwurf der allgemeinen Technologie (Nachdruck). Erstveröffentlichung: Göttingen, 1806

Beer, J.: Systemspezifikation. In: Brössler, P.; Siedersleben, J.: Softwaretechnik - Praxiswissen für Software - Ingenieure. München, Wien: Hanser, 2000.

Beinke, L.; Habel, K.M.; Harreis, H.; Richter, H.; Sieger, H.: Förderung naturwissenschaftlich-technischer Bildung für Mädchen in der Realschule in Nordrhein-Westfalen. Gießen/Münster/Duisburg/Essen: Verlag Polytechnik/Arbeitslehre, 1991.

Bethge, T.; Schecker, H.: Materialien zur Modellbildung und Simulation im Physikunterricht. Universität Bremen: Fachbereich Physik / Elektrotechnik, Institut für Didaktik der Physik, 1992.

Bishop-Clark, C.: Cognitive Style, Personality, and Computer Programming. In: Computers in Human Behavior, Vol. 11, No. 2. USA: Elsevier Science Ltd., 1995.

Booch, G.: Objektorientierte Analyse und Design. Bonn, Paris, Reading: Addison-Wesley, 1994.

Born, G.: Physik und Technik elektronischen Geldes. Wanderausstellung mit Multimedia-Komponenten und Hands-on-Experimenten. Commerzbank AG, Frankfurt, 1996.

Bradley, C.: The relationship between student's information processing styles and LOGO programming. In: Journal of Educational Computing Research 1, 1985.

Bresges, A.; Hunger, A.; Schwarz, F.; Werner, S.: Einführung neuer Medien in die Hochschulausbildung: sozialkognitive Aspekte der Software-Evaluation. In: Scheuermann, F. (Hrsg.): „Campus 2000: Lernen in neuen Organisationsformen (Tagungsband)“ Seite 347-354. Münster: Waxmann, 2000

Brössler, P.; Siedersleben, J. (Hrsg.): Softwaretechnik. Praxiswissen für Software-Ingenieure. München, Wien: Hanser, 2000.

Cathcart, W.: Effects of LOGO instruction on cognitive style. In: Journal of Educational Computing Research 6, 1990.

Cheney, P.: Cognitive style und student programming ability: An investigation. In: AEDS Journal 13, 1980.

Clements, D.; Gullo, D.: Effects of computer programming on young children’s cognition. In: Journal of Educational Psychology 76.

Culverhouse, P. F.; Ball, L.; Burton, C.J.: *DESMATE:* A tool for tracking engineering design in action. In: Design Studies Vol. 13 No 1, January 1992. Butterworth-Heinemann Ltd., 1992.

DeMarco, T.: Structured Analysis and System Specification. New York: Yourdon Press 1978.

Deutsche Industrie Norm - DIN 19226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Begriffe und Benennungen. Berlin, Köln: Beuth, 1968.

Dewey, J.: The Analysis of a complete Act of Thought. In: How we think. New York: Heath, 1910.

Doberenz, W.; Kowalski, T.: Visual Basic 6. München, Wien: Hanser 1999.

Dorn, F.: Physik. Hannover: Schroedel, 1983.

Drosdowski, G. et al. (Hrsg.): Duden „Grammatik der deutschen Gegenwartssprache“. Mannheim: Dudenverlag, 5. Auflage 1995.

Ellinger, Th.; Beuermann, G.; Leisten, R.: Operations Research – Eine Einführung. Heidelberg: Springer, 4. überarb. Auflage 1998.

Field, S. et al: Drehbuchschreiben für Fernsehen und Film. In: La Roche, W. von: Reihe List Journalistische Praxis. München: List Verlag, 7. Auflage 2000.

Forrester, J.W.: Grundsätze einer Systemtheorie. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1972.

Frey, K.: Die Projektmethode - Der Weg zum bildenden Tun. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 7. Auflage 1996.

Glowalla, U.; Engelmann, E. & Rossbach, G. (Hrsg.): Multimedia '94. Grundlagen und Praxis. Berlin: Springer, 1994.

Goldkuhle, P.: Modellbildung und Simulation im Physikunterricht. Einsatzmöglichkeiten computerunterstützer Modellbildungssysteme. In: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.): Heftenreihe Lernen mit neuen Medien im Unterricht. Bönen: Verlag für Schule und Weiterbildung, 1997.

Goorhuis, H.: Konstruktivistische Modellbildung in der Informatik. (Dissertation). Universität Zürich: 1994

Goos, G.; Zimmermann, S.: Programmiersprachen. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G.(Hrsg.): Informatik-Handbuch. München: Hanser, 2. Auflage 1999.

Grüner, G: didaktische Vereinfachung. In: Bausteine zur Berufsschuldidaktik. Trier: 1978.

Gryczan, G.; Kilberth, K.; Züllighoven, H.: Objektorientierte Anwendungsentwicklung. Braunschweig: Vieweg, 1993.

Harreis, H.: Strukturorientiertes Denken und Modelle. In: Bader, R.; Jenewein, K.: Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt: G.A.F.B. Verlag 2000.

Harreis, H.; Riede, H.M.; Sieger, H.; Treitz, N.: Empirische Untersuchungen über Erfahrungen und Meinungen von Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern zum Computer und seiner Nutzung im Unterricht, 1989.

Heimann, P.; Otto, G.; Schulz, W.: Unterricht - Analyse und Planung, Hannover: Schroedel , 10. Auflage 1979.

Heuer, D. u. a.: PAKMA-Softwarewerkzeug mit Dokumentationen, Anleitungen und ca. 40 Beispielen zum Physikunterricht auf der Begleit-CD zu den Handreichungen für den Physikunterricht im Gymnasium, Bd. 4 Computereinsatz im Physikunterricht Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung (Hrsg.:), München 1996.

Heuer, D.: Dynamische Physik-Repräsentationen - Verständnishilfen für Physikalische Experimente. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 45. Jg., Heft 4, 1996.

Hornung, C.: PC-basierte Multimedia-Systeme. In: Glowalla, U.; Engelmann, E. & Rossbach, G. (Hrsg.): Multimedia '94. Grundlagen und Praxis. Berlin: Springer, 1994.

Jacobson, I.: Object-Oriented Software Engineering: A Case Driven Approach. Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.

Klafki, W: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 5. Auflage 1996.

Klimsa, P.: Multimedia aus psychologischer und didaktischer Sicht. In: Issing, L. J.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Psychologie Verlags Union, 2. Auflage 1997.

Kluitmann, E.: Lernsituation „Konstruktion und Fertigung eines Türbeschlages“ – Ein Beispiel für die Umsetzung des Lernfeldkonzeptes. In: lernen & lehren, 15. Jg., Heft 58, 2000.

Kluitmann, E.; Nolting, J.: Der Weg zu einem arbeitsprozess- und lernfeldorientiertem Unterricht. In: lernen & lehren, 16. Jg., Heft 64, 2001.

Koch, F.; Pyzalla, G.: Einführung in die Technologie. Köln, München: Stam Verlag. 8. Auflage 1989.

Kommers, P.A.M.; Jonassen, D.H.; Mayes, J.T.: Cognitive Tools for learning. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1991.

Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen: Technik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1981.

Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne handwerkliche Metallberufe. Metallbauer/Metallbauerin Fachrichtung Konstruktionstechnik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1991.

Leonard, W.: Regelungstechnik. In: Forschung in der Bundesrepublik Deutschland. Beispiele, Kritik, Anregungen. Im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) von Christoph Schneider (Hrsg.): Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel: Verlag Chemie, 1983.

Mascelli, J. V.: The Five C’s of Cinematography . Motion Picture Filming Techniques. Los Angeles: Silman-James Press, 1965.

Mayer, R.: Thinking, problem solving, cognition. New York: W. H. Freeman and Company, 1983.

McLuhan, M.; Powers, B.R.: The Global Village. Der Weg der Mediengesellschaft in das 21. Jahrhundert. Paderborn: Jungfermann, 1995.

Meadows, D. et al.: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: 17. Auflage 2000.

Mellor, J.; Ward, P.: Strukturierte Systemanalyse von Echtzeit-Systemen. München, Wien: Hanser 1991.

Mietzel, G.: Wege in die Psychologie. Stuttgart: Klett-Cotta, 9. Auflage 1998.

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Informatik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Physik. Frechen: Ritterbach Verlag, 1999.

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Fach Technik. Frechen: Ritterbach Verlag GmbH, 1999.

Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Bereinigte Amtliche Sammlung der Schulvorschriften des Landes Nordrhein-Westfalen (BASS), Ausgabe 2001/02, Frechen: Verlagsgesellschaft Ritterbach, 2001.

Mohamed, M.: The effects of learning LOGO computer language upon higher cognitive processes and the analytic/global cognitive styles of elementary school students. Doktorarbeit an der Universität Pittsburgh. In: University of Ohio (Hrsg.): Dissertation Abstracts International.

Möller, D.: Modellbildung, Simulation und Identifikation dynamischer Systeme. Berlin: Springer 1992.

Moore, G.E.: cramming more components onto integrated circuits. Elektronische Publikation, 1965. Quelle: http://www.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf

Müller-Merbach, H.: Operations Research. Methoden und Modelle der Optimalplanung, München 1989. Zitiert nach: Ellinger, Th.; Beuermann, G.; Leisten, R.: Operations Research – Eine Einführung. 4. überarbeitete Auflage. Heidelberg: Springer, 4. überarb. Auflage, 1998.

Nestle, E. (Hrsg.): Novum Testamentum Graece, Stuttgart: 1. Auflage 1898

Object Management Group, The (Hrsg.): OMG Unified Modeling Language Specification. Version 1.2, Juli 1998.

Oehler, K.: OLAP - Grundlagen, Modellierung und betriebswirtschaftliche Lösungen. München: Hanser, 1999.

OR News, Mitgliederzeitschrift der Gesellschaft für Operations Research (GOR) e.V., März 1998.

Pahl, G., Beitz, W.: Engineering Design (English Edition). Berlin: Springer, 1984.

Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Berlin: Springer, 4. neubearb. Auflage 1997.

Pennington, N.: Cognitive Components of expertise in computer programming: A review of the literature. Tech. Rep. No. 46: University of Michigan Center for Cognitive Science, Ann Arbor, MI 1982.

Plato: Der Staat: Über das Gerechte. Aus dem Griechischen übersetzt von Otto Apelt. 11., erneut durchgesehene Auflage. Hamburg: Meiner 1989.

Pomberger, G.: Prozedurorientierte Programmierung. In: Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. München: Hanser, 2. Auflage 1999.

Popper, K: Alles Leben ist Problemlösen. München: Piper, 6. Auflage 1995.

Popper, K: Wissenschaftslehre in entwicklungstheoretischer und in logischer Sicht. In: Popper, K: Alles Leben ist Problemlösen. München: Piper, 6. Auflage 1995.

Rechenberg, P.; Pomberger, G. (Hrsg.): Informatik-Handbuch. 2. erweiterte Auflage. München: Hanser, 1999.

Rechenberg, P: Was ist Informatik? : Eine allgemeinverständliche Einführung. München [u.a.] : Hanser, 2000

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik. München, Wien: Hanser, 2. überarbeitete Auflage 1999.

Rumbaugh et. al.: Object-Oriented Modeling and Design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

Scheuermann, F. (Hrsg.): „Campus 2000: Lernen in neuen Organisationsformen (Tagungsband)“, Münster: Waxmann, 2000

Schmayl, W., Wilkening, F.: Technikunterricht. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhard, 1995.

Schmuller, J.: Jetzt lerne ich UML. München: Markt + Technik Verlag, 2000.

Seneca: Epistula morales 106,12. Rom, ca. 65 n. Chr.

VanMerrienboer, J.: Relationship between cognitive learning style and achievement in an introductory computer programming course. In: Journal of Research on Computing in Education 29, 1988.

Verein deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Konstruktionsmethodik: Konstruieren technischer Produkte. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1977.

Vester, F.: Neuland des Denkens: vom technokratischen bis zum kybernetischen Zeitalter. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1980.

Vollmer, G.: Was können wir wissen? Stuttgart: Hirzel Verlag, 1985.

Ward, P.T.; Mellor, S.J.: Strukturierte Systemanalyse von Echtzeit-Systemen. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

Webb, N.: Cognitive Requirements of learning computer programming in group and individual settings. AEDS Journal 18 (3).

Webb, N.: Microcomputer learning in small groups: Cognitive requirements and group process. In: Journal of educational Psychology 76, 1984.

Weiner, B.: Motivationspsychologie. Weinheim: Psychologische Verlags Union 1994.

Wirfs-Brock, R.; Wilkerson, B.; Wiener, L.: Designing Object-Oriented Software. New York: Prentice-Hall, 1990.

Wolffgramm, H.: Allgemeine Techniklehre: Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten; Einführung in die Denk- und Arbeitsweise einer allgemeinen Techniklehre. Hildesheim: Franzbecker, 1994.

Yourdon, E.: Modern Structured Analysis. New York: Prentice-Hall, 1989.

Zimmer, G.: Mit Multimedia vom Fernunterricht zum offenen Fernlernen. In: Issing, L. J.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia

7.2 Hyperlinks

http://COLEEN.uni-duisburg.de

http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/visedit/visedit_beisp_06.html

http://www.hps-inc.com

http://www.learn-line.nrw.de/angebote/modell/system00.htm

http://www.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bezug von Begriffen der Modell- und der Realitätsebene zueinander 12
Abbildung 2: Symbole für Veränderungsraten in STELLA (Schecker 1998) 28
Abbildung 3: Abkühlung einer Flüssigkeit (Goldkuhle 1997) 29
Abbildung 4: DYNASIS-Modell des Duffing-Oszillators (Goldkuhle 1997) 30
Abbildung 5: Bifilares Pendel über zwei Magneten („Duffing-Oszillator“) 30
Abbildung 6: Objektdialogfeld von DYNASYS 31
Abbildung 7: s(t), a(t) Diagramme des Duffing-Oszillators, erstellt mit DYNASYS 32
Abbildung 8: (s,v)-Phasendiagramm des Duffing-Oszillators (DYNASYS) 32
Abbildung 9: Zusammenfassung der grafischen Symbole des Forrester-Schemas 33
Abbildung 10: das dynamische Systemmodell eines Federpendels 34
Abbildung 11: Dialogfeld zum numerischen Verfahren (DYNASYS) 36
Abbildung 12: Summe aus systematischem und numerischem Fehler 42
Abbildung 13: Die vollständige Handlung 45
Abbildung 14: Der Lebenslauf eines technischen Systems 47
Abbildung 15: Montage eines Schutzgitters als typischer Lernauftrag 48
Abbildung 16: Zusammenbauzeichnung des Geländerfußes 49
Abbildung 17: Die Arbeitsablaufplanung der Schüler 50
Abbildung 18: Das fertige Produkt nach dem letzten Arbeits- 51
Abbildung 19: Ein Petri-Netz zur Darstellung des Zusammenhangs verschiedener Begriffe 52
Abbildung 20: Systemdiagramm nach Ropohl 53
Abbildung 21: Struktogramm-Darstellung eines Programmes zur Arbeitszeitberechnung 59
Abbildung 22: Programmablaufplan eines Programmes zur Berechnung von linearem Wachstum 59
Abbildung 23: Datenflussdiagramm zum Vorgang „Kredit vergeben“ 64
Abbildung 24: Datenfluss im Teilprozess „Kreditrahmen feststellen“ 65
Abbildung 25: UML-Klassendiagramm 71
Abbildung 26: UML-Klassendiagramm „Auto“ 72
Abbildung 27: Ein mit einer objektorientierten Programmiersprache umgesetztes Modell bildet die im Klassendiagramm festgesetzte Struktur 1:1 ab. 73
Abbildung 28: Die grafische Schnittstelle zur interaktiven Variation von Modelleigenschaften 74
Abbildung 29: Die Konstruktion von UML-Diagrammen 77
Abbildung 30: Beispiel für ein Klassendiagramm in der dUML 80
Abbildung 31: Beispiel für ein technisches System, das sich durch ein Zustandsdiagramm beschreiben lässt: LCD-Digital-Multimeter ME-32 der Firma Voltcraft mit Drehwahlschalter 82
Abbildung 32: Das dUML-Aktivitätsdiagramm, dargestellt für das Objekt 84
Abbildung 33: Sequenzdiagramm gemäß UML-Notation 87
Abbildung 34: Sequenzdiagramm in dUML-Notation, mit dem Klassendiagramm in Langfassung und einem Pfeil, der die Zeitachse markiert 88

Abbildung 35: eine alternative Darstellungsweise, in der Beginn und Ende einer Rekursion durch Wiederholung des Ausgangsvektors markiert wird. 91
Abbildung 36: Verbundströme beim Objekt „Kraftfahrzeugmotor“ im System der allgemeinen Technologie..... 93
Abbildung 37: Beispiel eines Kollaborationsdiagrammes für das technische System „Ampelanlage“ 95
Abbildung 38: Vorträge der Domänenexperten..... 97
Abbildung 39: Staubpartikel sind konkrete Objekte mit individuell ausgeprägten Eigenschaften, die zu einer Klasse „Staub“ generalisiert werden können. 98
Abbildung 40: Die Analyse des Stoff-, Energie-, und Informationsflusses (oben) und die Erstellung eines Modells zusammen mit den Experten (rechts) liefert wertvolle Hinweise über den Aufbau des Systems und seine Abgrenzung zur Umwelt. 99
Abbildung 41: Wichtige Eigenschaften werden herausgearbeitet, ggf. auch mit ihren typischen Wertebereichen 100
Abbildung 42: Zahlreiche technische Systeme, auch die sehr fortgeschrittenen, machen optisch „wenig her“ oder geben durch Betrachtung kaum Aufschluss über ihre Funktionsweise. 104
Abbildung 43: Die mit CGI visualisierte Bewegung der Walze im Modell wird nahtlos in die mit Realfilm aufgenommene Bewegung der Walze im realen technischen System überblendet. 105
Abbildung 44: „Spikes“ (Funktionsmodelle) der visuellen Darstellung zentraler Objekte eigenen sich hervorragend als Grundlage für Gespräche mit Auftraggebern, Experten und zukünftigen Nutzern..... 110
Abbildung 45: Computer generierte Animationen sind ein besonders flexibles Mittel zur Visualisierung von Objekteigenschaften, Methoden und Zeitverhalten. Hier wird in Cinema4D mit abstrahierten Elementen der Klassen „Staub“ „Gas“ und „Filterfaser“ ein Filtervorgang visualisiert. 115
Abbildung 46: Eine Lernsoftwarekomponente ist ein Software-Modell, das in seinen Eigenschaften und Methoden dem nachgebildeten Objekt entspricht und mit einer grafischen Benutzeroberfläche verbunden ist, die Beobachtung und Manipulation der Eigenschaftswerte ermöglicht. 117
Abbildung 47: Digitaler Videoschnitt..... 120
Abbildung 48: Autorensystem „Macromedia Flash“..... 121
Abbildung 49: Die Entwicklungsumgebung von Visual Basic 122
Abbildung 50: grafische Repräsentation der Coleen-Komponenten und ihrer Relationen auf der Webseite des COLEEN-Servers. 131
Abbildung 51: COLEEN-Komponenten, mit denen sich ein Laborversuch zu Dehnungs-Mess-Streifen repräsentieren lässt, und ihre Relationen..... 133
Abbildung 52: Im Bereich Informationsumsatz wurde eine Problemstellung aus der Regelungstechnik, die Drehzahlregelung eines Generators, als Leitexperiment gewählt. 135
Abbildung 53: Die Hauptlast der Programmiertätigkeit wird von Studierenden der Lehramtsstudiengänge Physik und Technik getragen. Damit wird gezielt die Gestaltungs- und Anwendungskompetenz im Bereich neuer Lernmedien gefördert..... 141
Abbildung 54: der einzubeziehende Kontext eines Medieneinsatzes (in Anlehnung an Klafki). 143
Abbildung 55: Ein Referent nutzt eine COLEEN-Komponente zur Unterstützung seines Vortrages. 147

Abbildung 56: Nachdem sie durch den Vortrag mit der enthaltenen Komponenten instruiert worden sind, bedienen die Studenten gezielt den Experimentalaufbau. In der Mitte der beheizte Glaszylinder des Stirlingmotors. 148
Abbildung 57:Der Dozent greift an dieser Stelle ein, um mit Hilfe der Computersimulation noch einmal das Zusammenwirken von Hubraum, Verdichtung und Wirkungsgrad zu erläutern. 149
Abbildung 58: Im Anschluss an seinen Vortrag hat der Referent eine schriftliche Ausarbeitung abzuliefern. Wird diese im HTML-Format erstellt, kann er auf alle Komponenten zugreifen und diese als interaktive Elemente in seine Ausarbeitung einbinden. Die Ausarbeitung wird mit in die COLEEN-Datenbank integriert. 149
Abbildung 59: Analyse eines existierenden Software-Modells (Auszug aus Schülerheft) 160
Abbildung 60: Einführung in die objektorientierte Programmierung (Auszug aus Schülerheft) 162
Abbildung 61: Stoppuhrmessung. Man beachte die Aufstellung der Schüler an Messpunkten in Abständen von 2 m. Hiermit wird bewußt eine Analogie zur der diskreten Verschiebung des Objektes auf dem Bildschirm hergestellt. 165
Abbildung 62: Messung am schienengebunden Wagen mit elektrisch zeitgetakteter Messvorrichtung166
Abbildung 63: dUML-Klassendiagramm für „Moorhuhn“-Objekte 169
Abbildung 64: dUML-Zustandsgraph 169
Abbildung 65: grafische Oberfläche der Software-Simulation 172
Abbildung 66: Suche nach der Struktur und den Unterschieden der beiden Beispielprogramme. 173
Abbildung 67: Planung des Realexperimentes zum Abgleich des Modells als Schüleraufgabe. 176
Abbildung 68: Die Aufzeichnung des fallenden Balles (Kreis) in der Videoschnitt-Software 180
Abbildung 69: Vom Lehrer modifizierte Oberfläche mit „Stoppuhr“ in der Höhe jedes Fensterbrettes. 181
Abbildung 70: Die Arbeitsumgebung der Schüler bei der Anpassung der Simulation an die real gemessenen Werte. 184
Abbildung 71: Vergleich der Bevorzugten Assoziationen in der Laborgruppe und im Feldversuch .. 210
Abbildung 72: Im Laborversuch waren es vor allem die Mädchen, die durch Angabe formelmäßiger Zusammenhänge positiv auffielen. Computerbesitzer waren hier nicht im Vorteil 213
Abbildung 73: Anzahl genannter Lösungen zum Messen von Geschwindigkeit 219
Abbildung 74: Jungen tendieren stärker zur einfachen Antwort „ich würde den Tacho ablesen“ (linkes Diagramm), Mädchen neigen zur anspruchsvolleren Darstellung einer Methode die die Messung von Zeit und Weg beinhaltet. 223
Abbildung 75: Das linke Diagramm zeigt die Neigung der Mädchen, die Bestimmung der gefahrenen Strecke anhand einer Beispielrechnung zu erklären. Formelansätze finden sich dagegen bei beiden Geschlechtern gleichermaßen (rechts). 225
Abbildung 76:Die Antwort „habe mich privat nicht an den Physikunterricht erinnert“ wird vor allem von Jungen geliefert. Der private Besitz eines eigenen Computers spielt keine Rolle. 228
Abbildung 77:Vor allem Mädchen fallen als Assoziationen am ehesten Ereignisse des Straßenverkehrs ein. 229
Abbildung 78: Die Mädchen zeigen eine Präferenz, aus der Form der Kurve auf die Beschleunigung zu schließen. Der Schluss vom Weg auf die Beschleunigung ist in der Häufigkeit dagegen nicht mit einem Geschlecht korreliert. 234

Abbildung 79: Die denkbaren Einsatzfelder von multimediafähigen Computern im offenen projektartigen Unterricht. ... 240
Abbildung 80: Charakteristische Übergangsvorgänge zur Kennzeichnung des Zeitverhaltens ... 247
Abbildung 81: Störsprungantworten verschiedener Glieder ... 248
Abbildung 82: Typischer Schüleraufbau. Auf dem Bildschirm bereits die von der Gruppe „Schlecht“ entwickelte Steuerungssoftware. ... 263
Abbildung 83: Modifizierter Aufbau der Gruppe „Elite“ ... 267
Abbildung 84: Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Platoon“ ... 271
Abbildung 85: Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Platoon“ ... 274
Abbildung 86: Aufenthaltsdauer der Gruppe „Platoon“ in den einzelnen Kapiteln. ... 275
Abbildung 87:Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Elite“ ... 276
Abbildung 88:Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Elite“ ... 278
Abbildung 89:Aufenthaltsdauer der Gruppe „Elite“ in den einzelnen Kapiteln ... 278
Abbildung 90:Zugriffe auf das Informationsmaterial durch die Gruppe „Schlecht“ ... 279
Abbildung 91: Nutzungsdauer der Karten durch die Gruppe „Schlecht“ ... 280
Abbildung 92: Aufenthaltsdauer der Gruppe „Schlecht“ in den einzelnen Kapiteln ... 280
Abbildung 93: dUML-Aktivitätsdiagramm zur systematischen Analyse des Chat-Programms (unvollständig). ... 286
Abbildung 94: dUML-Aktivitätsdiagramm zur systematischen Analyse des Chat-Programms (vervollständigt). ... 286
Abbildung 95: Während des Unterrichtsgesprächs korrigiertes Diagramm. ... 287
Abbildung 96: Die Oberfläche des von den Schülern programmierten Ampel-Steuerungs-Programmes ... 288
Abbildung 97: Die Simulation bei ihrem Start. Jedes Kästchen symbolisiert einen Schüler, mit seinem Ersparten und seinem, in DM ausgedrückten, Bedarf an einem Mobilfunkgerät. ... 293
Abbildung 98: Das Ende dieser Simulation im Zeitraum Z11. Mittlerweile haben sich 10 der 32 Schüler nach einer Periode des Sparens ein Mobilfunkgerät gekauft. ... 294
Abbildung 99: Der Simulationsverlauf nach Einführung des „Sozialneid“-Parameters. ... 295

Lebenslauf

Persönliche Daten	
Name	André Bresges
Anschrift	Dellplatz 7 / 526, 47051 Duisburg
Telefon dienstlich	(0203) 379-3036
Privat	(0177) 2737437
E-Mail	bresges@uni-duisburg.de
Geburtsort/Datum	Wesel am Niederrhein / 15.4.1971
Lehr/Lernphasen	
1981-1990	Gymnasium Voerde. Abschluss Abitur mit den Leistungskursen Physik und Deutsch sowie den Fächern Mathematik und Erdkunde.
1990-1991	Grundwehrdienst an Bord des Schnellbootes S-62 FALKE. Ausbildung und Einsatz im seemännischen und technischen Bereich.
1991-1996	Studium der Fächer Physik und Technik an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg. Abschluss 1996 mit dem I. Staatsexamen.
1997-1999	Vorbereitungsdienst für das Lehramt in den Sekundarstufen I und II, Studienseminar Essen. Abschluss 1999 mit dem II. Staatsexamen.
Seit 1999	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg mit dem Ziel einer Promotion zum Doktor der Pädagogik. Dabei ½ Stellenanteil im Fach „Didaktik der Physik“ und ½ Stellenanteil im Fach „Technologie und Didaktik der Technik“.
Nebentätigkeiten	
1993-2000	Freier Mitarbeiter an der Volkshochschule Wesel (4 Stunden/Woche). Kurse zu Betriebssystemen und Anwendersoftware.
1993-1995	Aufbau und Installation von PC und Netzwerken; Schulung, Beratung und Verkauf im EDV-Einzelhandel.
1996-1997	Aufbau der Internetpräsenz des Faches Technologie und Didaktik der Technik an der Universität Duisburg.
1999-2002	Lehrauftrag (4 Stunden/Woche) an der Willy-Brandt-Gesamtschule Mülheim in den Fächern Physik und Informatik.

Mitgliedschaften	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
	IBTW	Verein zur Förderung der Berufsbildung in Technik und Wirtschaft
	B.A.G	BundesArbeitsGemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e.V.
	TUF	Technik Unterricht Forum, Verband der NRW-Techniklehrer
	DUG	Duisburger Universitäts-Gesellschaft
Gutachtertätigkeiten	Gutachter des European Academic Software Award EASA	

André Bresges